அடிப்படை பௌதிகம்

(FUNDAMENTAL PHYSICS)

ஆசிரியர்
ஜே ஆரியர்

தமிழாக்கம்
இரா. நாகராசன்



தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—571

அடிப்படை பௌதிகம்

ஆசிரியர்
ஜே ஆரியர்,
இயற்பியல் இணைப் பேராசிரியர்,
கார்னல் பல்கலைக் கழகம்,
அமெரிக்க ஐக்கியநாடு.

தமிழாக்கம்
இரா. நாகராசன், எம்.ஏ., எம்.எஸ்ஸி,
இயற்பியல் துணைப் பேராசிரியர்,
அரசினர் கலைக் கல்லூரி,
உதகமண்டலம்.



தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—March, 1974

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 571

© Tamil Nadu Text Book Society

FUNDAMENTAL PHYSICS

JAY OREAR

Translated by
R. NAGARAJAN

Price Rs. 12-30

Authorized Translation from English Language edition published by John Wiley & Sons, Inc., New York. Copyright © 1961 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

'Published by the Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture) New Delhi.

Printed by
M/s. Sputnic Printers,
27, Perambur Barracks Road,
Vepery, Madras-7.

அணிந்துரை

திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன்
(தமிழகக் கல்வி அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதின்மூன்றாண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப் படிப்பு வகுப்புகளிலும் அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மனநிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ்வகையில் கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக் கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்ல வேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதம், இயற்பியல், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இருவகையிலும் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'அடிப்படை பௌதிகம்' என்ற இந் நூல் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 571ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 606 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக் கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெற வேண்டும். அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக்கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம் கலந்த நன்றி உரியதாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்



என்ரிகோ ஃபெர்மி, 1901—1954

முன்னுரை

அண்டம் எவ்வாறு இயங்குகிறது? இயற்கையின் இரகசியங்கள் யாவை? பௌதிக மெய்ம்மை என்பதுதான் என்ன? இவைபோன்ற வினுக்களே இந்நூலின் மையக் கருத்தையும் நோக்கத்தையும் கூறுவனவாகும். கணிதத்திலோ அறிவியலிலோ பயிற்சி பெருத கல்லூரி மாணவர்களுக்கு ஓராண்டுப் படிப்பிற்காக இந்நூல் முதலில் எழுதப்பெற்றது. ஆயினும், அறிவியலேப் பயிலும் கல்லூரி மாணவர்களும் முதலில் பௌதிகத்தைக் கற்கும் பொழுது இதனைப் பயன்படுத்தலாம்.

அறிவியல் துறைகளுக்கெல்லாம் அடிப்படையான தத்துவங்களேயும் இயற்கை விதிகளேயும் பற்றியே இந்நூல் பெரிதும் பேசும். ஆராய்ந்து பார்த்தால் பௌதிகம் என்று சொல்லப்பெறும் பகுதியுள் அடங்கிய பெரும் தலைப்புகளுள் இவை ஒரு பகுதியாகும். எனவே, கல்லூரிக்கான பௌதிகப் பாடநூல்களுள் இதுவும் ஒன்று எனக் கூறலாம். ஆயினும், வழக்கமாக பௌதிகத்தில் பேசப்பெறும் செயல்முறைப் பகுதிகள் இங்குப் பேசப்படமாட்டா. காட்டாக, எந்திரங்கள், சுழற்சி இயக்கவியல், ஒளிச் செறிவியல் (Photometry), ஒளியியல் கருவிகள், *a–c* கோட்பாடு, வெப்பவியல், நிலைமீட்சியியல், ஒலியியல் போன்ற கருத்துகளேப்பற்றி இங்குக் காண்பதரிது. ஆகவே, செயல்முறை பௌதிகத்தை நீக்கிய அடிப்படை பௌதிகம் பேசும் இந்நூலில் கருதப்படும் தலைப்புகள் குறைவாகும். அதே சமயத்தில் அத் தலைப்புகள் ஆழ்ந்து பேசப்படும். இருப்பினும் எலெக்ட்ரானியலைப்பற்றி விளக்கமாகக் கூறும் இயல் 9 இதற்கு விதிவிலக்கு. இயற்கையின் அடிப்படை விதிகளே விளங்கிக் கொள்வதற்குப் பெருவளர்ச்சி பெற்றுள்ள இன்றைய தொழில் நுணுக்கக் கருவிகளேப்பற்றிப் புரிந்துகொள்ளவேண்டும். அந்த நிலையில் ரேடியோ, டெலிவிஷன் போன்ற அமைப்புகளே உணர்ந்து கொள்ளவேண்டியது அவசியம். இவைகளுக்கெல்லாம் அடிப்படையாய் அமைவது எலெக்ட்ரானியல். எனவே, அத்தகைய எலெக்ட்ரானியலைப்பற்றி 9ஆவது இயலில் விரிவாகக் கூறப்படுகிறது. பொறியியல் பற்றிய விளக்கங்களே விரும்பாத இயற்பியல் மாணவர்கள் இவ்வியலை ஒதுக்கிவிடலாம்.

கூர்ந்து நோக்கும்போது அடிப்படை பௌதிகம் என்பது ஆழ்ந்த மெய்யுணர்வின்பாற்பட்டது என்று கூறலாம். மனிதன் இயற்கையோடு தொடர்ந்து போராடுகிருன். வியத்தகு காட்சிகளே அவனுக்கு அளித்துவரும் அந்த இயற்கையோடு அவன்

தன்னை இணைத்துக்கொள்ள வேண்டியவனுகிறுன். மனிதனுக்கும் இயற்கைக்கும் இடையே நடந்துவரும் இப் போராட்டத்தை மெய்யுணர்வு நோக்குடனும் வரலாற்று நோக்குடனும் கலையியல் மாணவனுக்குச் சொல்லிக் கொடுக்கவேண்டும் என்ற ஓர் ஆசை உண்டு. அத்தகைய முயற்சி அறிவியலை போதிப்பதற்கு மாருக அறிவியலைப்பற்றி போதிப்பதாக முடியும். எனவே, மாணவன் அவன் வாழும் இயற்கை உலகைப் பற்றிய தெளிவான விளக்கம் பெறுவது அரிது. கற்றறிந்தவன் என்று சொல்லப்படுபவன் இந்த இருவகைப் பயிற்சிகளையும் பெற்றிருக்க வேண்டும். அறிவியலைப்பற்றித் தெரிந்துகொள்வதோடன்றி அறிவியலுக்கும் பிற துறைகளுக்கும் உள்ள தொடர்பைப்பற்றி மெய்யுணர்வுத் துறைகளில் (Philosophy courses) அறிந்துகொள்வது சாலச் சிறந்தது. எனினும், அறிவியலின் போதனைக்கே முக்கியத்துவம் அளிக்கப்படும்போது மனிதப் பண்பாட்டியல் நோக்குடன் (Humanistic approach) கற்பிக்கப்படும் அறிவியல் படிப்புமுறை ஆரம்ப பௌதிக வகுப்புகளில் ஊறு செய்வதற்கில்லை. எனவே, அறிவியலானது நமது பண்பாட்டை எவ்வாறு உருவாக்கியுள்ளது என்பது பற்றி இந்நூல் ஓரளவு கூறும். அறிவியல் முறைகள், அறிவியல் கண்டுபிடிப்புக் கலை, அறிவியலாளிகளின் சமுதாயப் பொறுப்பு மற்றும் அறிவியலானது மெய்யுணர்வு, சமுதாயம், அரசியல் துறைகளில் பயன்பட்டு நமது பண்பாட்டை உருவாக்கும் வகைகள் ஆகியவை விளக்கப்பட்டுள்ளன. எனினும் இங்கு பௌதிகத்திற்குத்தான் சிறப்பிடம் கொடுக்கப்பட்டிருக் கிறதேயொழிய இவை யெல்லாம் ஆங்காங்கே ஒருவாறு சுட்டப் பெறுகின்றன என்றே கூறவேண்டும். இந்நூலின் நடு நோக்கத்தை நிலைநாட்டும் வகையில் பௌதிக வரலாற்றில் காணப்பெறும் எழுச்சியும் உணர்ச்சியும் மிகுந்த பகுதிகள் பயன்படுத்தப் பட்டுள்ளன. மாணவன் அறிவியலைப் புரிந்துகொண்டான் என்பதற்குச் சான்று தருவது சிந்தித்து விடைபெறக்கூடிய கணக்குகளைத் திறமுடன் செய்யும் அவன் நிலைதான். கொலம் பியா, கார்னல் பல்கலைக்கழக மாணவர்களிடையே எனக்குக் கிடைத்த அனுபவத்தில் கலையியல் மாணவர்கள் கணக்குகளுக்கு விடையிறுக்கும் வகையில் அடிப்படைக் கருத்துகளை நன்கு புரிந்துகொள்கிறுர்கள் என நான் கண்டுள்ளேன்.

கற்பிக்கும் முறையில் சிறந்தது என நான் கண்டவகையில் இங்குத் தலைப்புகளைத் தொடுத்துள்ளேன். ஆற்றெழுக்கு போன்ற கருத்து வளர்ச்சிக்கு இது துணைசெய்யும். இம்முறையில் ஒரு சில இடங்களில் இன்றைய பௌதிகத்தைப் பேசிய பின்னரே முது கருத்துகள் (Classical versions) மற்றும் தொடக்ககால (Pre-

classical) கருத்துகள் பேசப்படும். பௌதிகத்தை முதுமுறையில் (Classical method) முதலில் சொல்லிக்கொடுப்பது, பிறகு அதிலுள்ள பிழைகளைக் கூறுவது, பின்னர் மாணவன் அதனை மறக்குமாறு செய்வது, அதற்கும் பின்னர் புதிய முறையைப் புகட்டுவது; இதுவே பெரும்பாலும் நாம் கையாண்டுவரும் முறையாகும். இந் தமுறையினைப் பின்பற்ற விரும்பாத நிலையில் இந்நூலினை எழுதியுள்ளேன். புதிய கருத்தொன்றைக் கூறும்பொழுது அதைப்பற்றிய இன்றைய கருத்து முதற்கண் கூறப்படும். அவ்வாறு ஒரு தலைப்பினைப்பற்றிய இன்றைய கருத்தை அறிந்த மாணவன் அதுபற்றிய முன்னுள் கருத்துகளை எளிதே விளங்கிக்கொள்ள முடியும் என்பது என்னுடைய கருத்தாகும். தலைப்புகள் வழக்கம்போலன்றி ஆற்றொழுக்குபோன்ற கருத்து வளர்ச்சிக்குத் துணைசெய்யும் வகையில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. காட்டாக, உலோகத்திலிருந்து எலெக்ட்ரான்களின் புலவெளியீடு பற்றிப் பேசும் பகுதியிலேயே அரண் ஊடுருவல் நிகழ்ச்சி விளக்கப் பட்டுள்ளது. அதற்கு முன்பாகவே விளக்கப்பட்ட ஃபெர்மி ஆற்றல், உலோகப் பிணைப்பு, நிலையாற்றல் வரையுருக்கள் முதலியன இப்பாடத்தைப் புரிந்துகொள்வதற்குப் பெரிதும் துணை செய்யும். இவைகளைப்பற்றி விளங்கிக் கொள்வதற்குப் பெட்டியில் எலெக்ட்ரான் அலைகள், அணுவைச் சுற்றியமைந்த எலெக்ட்ரான் மேகங்கள், மின்னழுத்தம் ஆகியவைகளைப்பற்றி முன்னமே அறிந்தநிலையில் மாணவன் திறமான அறிவு பெறுகிறுன். கருத்துகளின் ஆற்றொழுக்குத் தொடர் வரிசையில் மேலும் பின்னேக்கிச் செல்வோமாயின் அலை - துகள் இருமை, அலைக் குறுக்கீடு, மின்சாரம், ஆற்றல், விசையியல் முதலியவற்றைக் காணலாகும். எனவே, இந்நூலின் குறிக்கோளான ஆற்றொழுக்கு முறை அறிவு வளர்ச்சிக்கு உகந்தவகையில் இப் புத்தகத்தின் பல பகுதிகளும் அமைந்துள்ளன. பௌதிகமானது திறம்வாய்ந்த ஒருமையின் பாற்பட்ட கொள்கை அமைப்புக் கொண்டதாகையால் தொடர்பு காணமுடியாத தனித்தனித் தலைப்புகளைப்பற்றிப் பேசும் வழக்கமான பாடநூல்களிலிருந்து இந் நூல் மாறுபடுகிறது. இங்குள்ள தலைப்புகள் ஒன்றுக்கொன்று உறவுபெருது தனித்து நிற்பவை அல்ல. ஒருவேளை முதுபௌதிகத்தை அவ்வாறு விளக்கி மகிழ்வது எளிதாயிருக்கலாம். ஆனல், இயற்கை அவ்வளவு எளிதாகக் காட்சியளிப்பது இல்லை என்று துணிந்து கூறலாம். குறைபாடுகளையும் வரம்பு நிலைகளையும் கொண்ட இன்றைய பௌதிகத்தை உள்ளது உள்ளவாறே இந் நூலில் கூறியுள்ளேன்.

பௌதிக நிகழ்ச்சிகள் பலவற்றையும் விளக்குவதற்குக் குவான்டம் கொள்கை பயன்படுகிறது என்னும் உண்மையை

நான் மறந்தேனில்லை. குவான்டம் மின்இயக்கவியலில் அண்மையில் நிகழ்ந்துள்ள வளர்ச்சிகளின் காரணமாக இயற்கை உலகைப் பற்றியும் இன்று நாம் சிறந்த முறையில் விளக்கம் பெறுகிறோம். இப் புத்தம்புதிய கருத்துகளையெல்லாம் ஓரளவாவது நம் கல்லூரி மாணவர்கள் அறியவேண்டும். எலெக்ட்ரான் மேகங்கள், வேதியியல் பிணைப்பு பற்றிய குவான்டம் கொள்கை, ஃபெர்மி ஆற்றல், காலநீட்டிப்பு, அணுக்கரு அமைப்பு, அண்டவியல், ஒப்புமை அழிவின்மை முதலிய தலைப்புகளெல்லாம் கல்லூரியில் நுழையும் மாணவனுக்குக் கடினமானவையாகவும், அப்பாற்பட்டவையாகவும் இருக்கும் எனச் சில பௌதிக ஆசிரியர்கள் கருதலாம். ஆனால், கலையியல் மாணவர்களுக்கு ஆறு ஆண்டுகள் இவ்வகைப் பாடங்களைக் கற்பித்த நிலையில் அவர்களுக்கு ஃபெர்மி ஆற்றல் அல்லது மின்னூட்ட மாற்றிணைவுமாற்றமின்மை முதலியவைகளே நியூட்டனின் மூன்றாம் விதியையும்விட எளிதில் விளங்குவதைக் கண்டேன். இன்றைய பௌதிகத்தின்பால் சிறந்த ஈடுபாட்டுடன் அவர்கள் படிப்பை முடித்துக் கொள்வதோடு முது பௌதிகத்தையே ஒதுக்கிவிடலாம் என்றும் கருதுகிறார்கள்.

இறுதியில், இந் நூலாக்கப்பணியில் என்னைப் பெரிதும் ஊக்கிய கார்னலிலுள்ள என் நண்பர்களுக்கு நான் கடமைப்பட்டுள்ளேன். குறிப்பாகப் பல பயனுடைக் கருத்துகளை அளித்த பேராசிரியர்கள் ராபர்ட் ஸ்ப்ரௌல் (Robert Sproull), ஃபிலிப் மாரிஸன் (Philip Morrison), ஜான் டி வைர் (John De Wire) மற்றும் ரிச்சர்ட் ஃபென்மென் (Richard Feynman) ஆகியோருக்கு நான் பெரிதும் கடமைப் பட்டுள்ளேன். தனிப்பட்ட எந்த ஒருவராலும் உருவாக்க முடியாத படங்களைப் பலர் இந்நூலுக்குத் தந்து உதவியுள்ளனர். பல சிறந்த படங்களைத் தந்துதவிய கல்விப் பணித்துறையின் இயற்பியல் குழுவினருக்கும் (Physical Science Study Committee of Educational Services Inc.), பெரிதும் ஒத்துழைத்த பேராசிரியர் ஃபிரான்சிஸ் ஃப்ரீட்மெனுக்கும் (Francis Friedman) நான் நன்றி செலுத்தக் கடமைப்பட்டுள்ளேன். ஹைடிரஜன் எலெக்ட்ரான் மேகங்களையும் டியூட்ரியம் அணுக்கரு மேகத்தையும் கணக்கிடுவதில் கார்னலைச் சேர்ந்த திரு. கிம் காய் (Kim Choy) பெரிதும் உதவியுள்ளார். இந் நூலின் பூர்வாங்கப் பதிப்பின்போது பெரிதும் உதவிய திரு. ஃப்ரான்சிஸ் ஷ்ராக் (Francis Schrag) குக்கும் மற்றும் பல கார்னல் மாணவர்களுக்கும் என் நன்றி உரித்தாகும்.

பௌதிகத்தின் பெரும் பகுதியையும் அதனை அணுகும் முறையையும் கற்பித்த என்ரிக்கோ ஃபெர்மி (Enrico Fermi) அவர்

களுக்கு நான் பெரிதும் நன்றிக் கடன்பட்டுள்ளேன். மிகச் சிக்கலான கருத்துகளையும் கணிதம் சிறிதுமின்றி, பௌதிக உள்நோக்குடன் தெளிவாகவும் கருத்தைக் கவரும் எளிய முறையிலும் எடுத்துக் கூறும் ஆற்றலால் அவர் யாவரையும் கவர்ந்தவர். அவர் கையாண்ட வழியிலேயே பௌதிகத்தின் மூலக்கருத்தையும் அது அளிக்கும் உள்ளக் கிளர்ச்சியையும் அளிக்க முயலுவதே என் குறிக்கோளாகும்.

ஜே ஆரியர்
செப்டம்பர், 1960.

பொருளடக்கம்

பக்கம்



அறிமுகம்

(Introduction)

1. அறிமுகம்

1-1 பௌதிகம் என்றால் என்ன ?

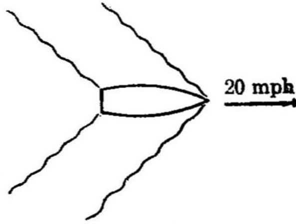
பௌதிகர்களின் கண்துஞ்சாப்பணியே.

பௌதிகம் என்றால் என்ன என்பதற்கோ, எத் தலைப்புகள் பௌதிகத்திற்கு உரியவை, எவை உரியவை அல்ல என்பதற்கோ தெளிவான வரையறை எதுவும் கிடையாது. இந் நூலின் பொருளடக்க அட்டவணை, அகர வரிசை ஆகியவற்றை நோக்கு வோமாயின் உரியவை என இந் நூலாசிரியர் கருதும் சில தலைப்பு களைப்பற்றிய கருத்துகளைப் பெறலாம்.

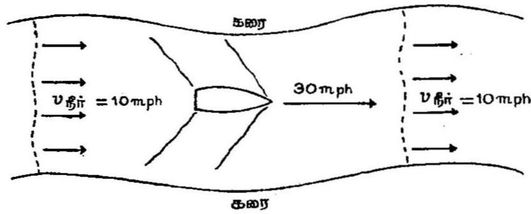
நாம் வசிக்கும் அண்டத்தின் விதிகளைக் கண்டறிவது பௌதிகத்தின் நோக்கங்களுள் ஒன்றாகும். இவ் விதிகளுள் சில, விஞ்ஞானிகளுக்கும் தத்துவஞானிகளுக்கும் அதிர்ச்சியையும் ஆச்சரியத்தையும் தரக் கூடியவையாய் அமைந்துள்ளன. உண்மை யைக் கூறுமிடத்துச் சில கண்டுபிடிப்புகள் நோபல்பரிசு பெற்ற வர்கள்கூட ஏற்றுக்கொள்வதற்குத் தயங்குமளவிற்கு அதிர்ச்சி யூட்டக் கூடியவையாயும் பொது உணர்வுக்கு மாறுபட்டதாயும் இருந்தன. காட்டாக, ஐன்ஸ்டீன் 1905-ல் சார்பு கொள்கை யையும் (Theory of Relativity) ஒளிமின் விளைவுக் கொள்கையையும் (Theory of Photoelectric Effect) வழங்கினார். ஆனால், ஒளிமின் விளைவுக் கொள்கைக்காக 1921 வரை அவருக்கு நோபல் பரிசு வழங்கப்படவில்லை. சார்பு கொள்கைக்காக நோபல் பரிசு வழங்கப்படவே இல்லை. புதிய கண்டுபிடிப்புகளைத் தேர்ந்தெடுப் பதில் உதவிபுரியும் நோபல் பரிசு பெற்றவர்கள் சார்பு கொள் கையை மிகவும் புரட்சிகரமானதாகக் கருதினார்கள் என்பது வெளிப்படை.

இப்பொழுது பௌதிகர்கள் வெளிப்படையாகத் தோன்று பவற்றையும், பொது உணர்வையும் ஐயுறத் தொடங்கி

விட்டார்கள். பொதுஉணர்வு என்பது மனித உள்ளத்தின் விளைவு ஆகும். இயற்கையன்னை அதற்குக் கட்டுப்பட வேண்டும் என்ப தற்கு எவ்வித முகாந்தரமும் கிடையாது. காட்டாக, பௌதிக உலகைப் பொறுத்தவரை $2 + 2 = 4$ என்பதைக்கூட நாம் நம்புவதில்லை. விநாடிக்கு 20 பில்லியன் சென்டிமீட்டரும் விநாடிக்கு 20 பில்லியன் சென்டிமீட்டரும் சேர்ந்து விநாடிக்கு 40 பில்லியன் சென்டிமீட்டர் அல்ல; ஆனால் விநாடிக்கு 27.3 பில்லியன் சென்டிமீட்டர் என்று நாம் அறிந்திருக்கிறோம். திசை வேகங்களைப் பொது உணர்வுக்கு முரண்பட்ட முறையில் கூட்ட வேண்டும் என்பதை இப்போது நாமறிவோம். தொகுபயன் திசைவேகம் அதன் ஆக்கக் கூறுகளின் கூட்டல் தொகையை விட எப்போதும் குறைவாகவே உள்ளது. திசைவேகங்கள், ஒளியை ஒப்பு நோக்குமிடத்து குறைவாயுள்ளபோதும் மேற் கூறிய விளைவு ஏற்படுகிறது; ஆனால், மிகச்சிறிய அளவில் உள்ளது. இதற்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாக ஆற்றின் நீரோட்டத் திசையில் நீரைப் பொறுத்தவரை மணிக்கு 20 மைல் வேகத்தில்



(a அமைதியான நீரில் படகு



(b) மணிக்கு 10 மைல் வேகத்தில் பாயும் நீரில் அதே படகு

படம் 1-1

நீரோட்டத் திசையில் செல்லும் படகு. (a)-ல் படகு நீரில் மிதக்கும் ஒருவரால் நோக்கப்படுகிறது. படம் (b)-ல் படகு கரையிலிருந்து நோக்கப்படுகிறது.

செல்லும் ஒரு படகினைக் கருதுவோம். நீரின் திசைவேகம் மணிக்கு 10 மைல் என்றால் ஆற்றின் கரையைப் பொறுத்தவரை படகின் தொகுபயன் திசைவேகம் இரு திசைவேகங்களின் கூட்டல்

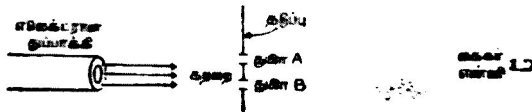
தொகைக்கு, அதாவது மணிக்கு 30 மைலுக்குச் சரியாகச் சமமாக இருக்கவேண்டும். எனினும் பௌதிக விதிகளின்படி படகின் திசைவேகமானது இரு திசைவேகங்களின் கூட்டல் தொகையைவிடச் சிறிதே குறைவாக இருக்கும். vபடகு $= 29\cdot 99999999999999866$ மைல்/மணி என்பதே சரியான விடையாகும். இங்குப் பயன்படுத்த வேண்டிய பௌதிக விதி திசைவேகங்களின் ஐன்ஸ்டீன் கூட்டலாகும். அதன்படி,

$$v_{\text{தொகுபயன்}} = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

c என்பது ஒளியின் திசைவேகமாகும். இந்த வாய்பாட்டிலிருந்து அன்றாட நடைமுறைக் கணக்கீடுகளுக்கு

$$v_{\text{தொகுபயன்}} = v_1 + v_2$$

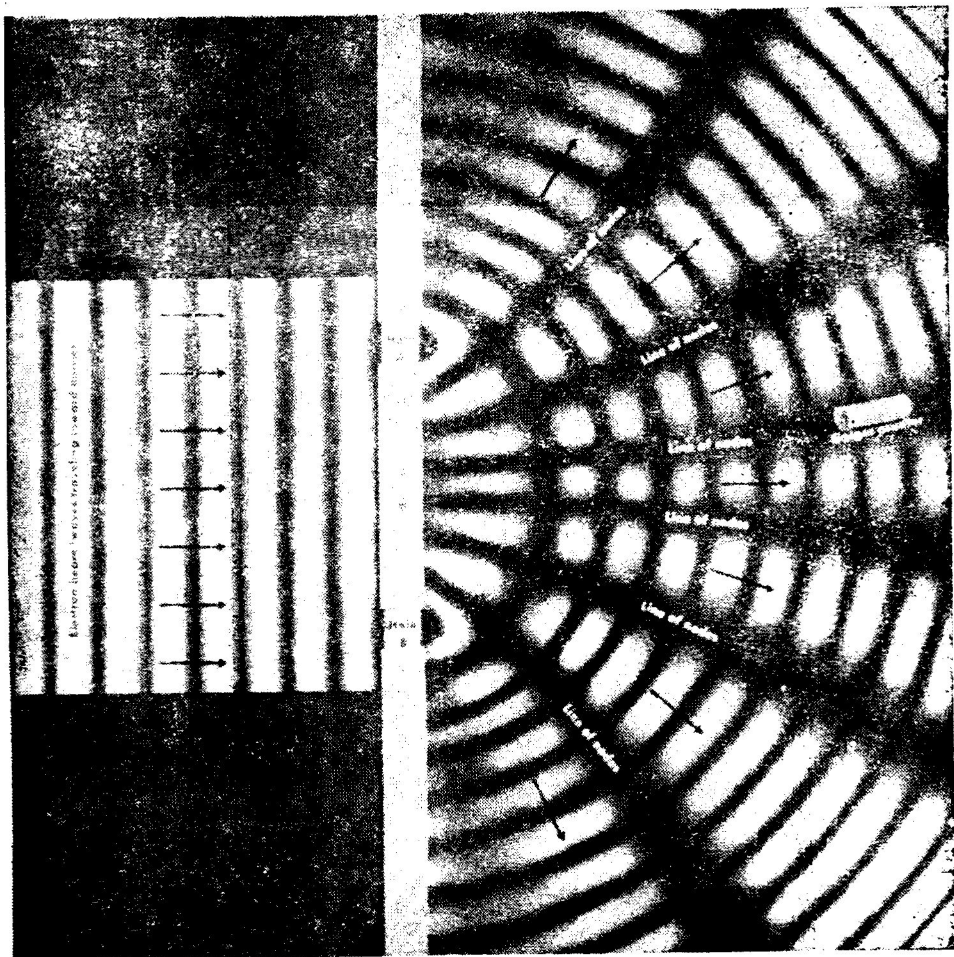
என்ற பழைய விதியே மிகவும் போதுமானது என்பதை நாம் காணலாம்.



படம் 1-2

A, B. ஆகிய துளைகளின் வழியே எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கி எலெக்ட்ரான் கற்றையைச் செலுத்துதல்

பொது உணர்வுக்குப் புறம்பான மற்றுமோர் எடுத்துக்காட்டைக் கருதுவோம். இந்த எடுத்துக் காட்டில் 2+2 சுழியாகக் கூடும்; அல்லது நீங்கள் விரும்பினால் 2+2=8 ஆகுமாறும் செய்யலாம். A, B என்ற இரு துளைகளையுடைய எலெக்ட்ரான்கள் ஊடுருவாத் தடுப்பு ஒன்றை நோக்கி எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கி ஒன்றிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரான் கற்றையைச் செலுத்துவதாகக் கொள்வோம். தடுப்பினின்றும் தொலைவில் ஒரு கைகர் எண்ணி (Geiger counter)யை வைத்து B என்ற துளையை மூடுவோம். இப்போது எண்ணி விநாடிக்கு 2 எலெக்ட்ரான்களை எண்ணும். அடுத்து A என்ற துளையை மூடிவிட்டு B என்ற துளையைத் திறப்போம். மீண்டும் விநாடிக்கு 2 எலெக்ட்ரான்களைப் பெறுவோம். அடுத்து இரு துளைகளையும் திறந்துவிடுவோம். எண்ணி ஒன்றும் எண்ணாது! கிடைக்கப்பெறும் தொகையானது திசைவேகங்களின் ஐன்ஸ்டீன் கூட்டலில் உள்ளதுபோல் கூட்டப்படும் பகுதிகளின் கூட்டல்



படம் 1-3

இரு துளைகளின் வழியே செல்லும் ஓர் ஒளிக்கற்றை. ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் ஒளிச்செறிவு இப்படித்தான் தோன்றும். கரும்பகுதிகளில் ஒளிச் செறிவு சுழியாகும். பொருளின் அலைப்பண்புக் கோட்பாட்டின்படி எலெக்ட்ரான் அலைகள் இதையொத்த முறையில் செயலாற்றும்.

தொகையைவிட சிறியதாக இருப்பதோடன்றி அவை ஒவ்வொன்றையும் விடச் சிறியதாகவும் இருக்கிறது. கைகர் எண்ணியைச் செங்குத்துத் திசையில் சற்றே நகர்த்தினால் வினாடிக்கு 8 எலெக்ட்ரான்கள், அதாவது ஒவ்வொரு துளையிலும் தனித்தனியாகக் கிடைக்கப்பெறும் எலெக்ட்ரான்களின் கூட்டல் தொகையைப் போல் இரு மடங்கு எலெக்ட்ரான்கள் எண்ணப்படும் ஓரிடத்தைப் பெறலாம். முதலில் இவற்றை ஏற்றுக்கொள்ளுவதற்குக் கடினமாகத் தோன்றலாம். ஆனால், இவை உண்மையானவை. இத்தகைய நிகழ்ச்சிகள் சோதனைச் சாலையில் பதிவு செய்யப்பட்டுள்ளன (படம் 12-5 பார்க்க). இந்தக் குறிப்பிட்ட நிகழ்ச்சி பொருள்களின் அலைப்பண்பினால் ஏற்படுவதாகும். எல்லாத் துகள்களும் குறிப்பிட்ட சில அலைப்பண்புகளைக் கொண்டுள்ளன என்றும் மேற்கூறிய நிகழ்ச்சிகள் ஏற்படுவது இயற்கையே என்றும் இயல் 12-ல் நாமறிவோம். எலெக்ட்ரான் அலைகள் A,B ஆகிய துளைகள் வழியாக ஒருங்கே செல்லும்போது எவ்வாறு காணப்படும் என்பதைப் படம் 1-3 காட்டுகிறது.

மேற்கூறப்பட்ட ஆற்றுப்படகு, எலெக்ட்ரான் கற்றை ஆகிய இரு எடுத்துக்காட்டுகளும் முறையே சார்பு கொள்கை, குவாண்டம் கொள்கை (Quantum theory) ஆகியவற்றின் பயன்களை விளக்குகின்றன. மிகவும் அடிப்படைத் தன்மை வாய்ந்த பௌதிக நிகழ்ச்சிகளுள் பல பௌதிக உலகின் மேற்கூறப்பட்ட இரு அடிப்படைத் தத்துவங்களின் விளைவேயாகும். எனவே, சார்பு கொள்கைக்கும் குவான்டம் கொள்கைக்கும் இந் நூலில் ஒரு குறிப்பிடத்தக்க பகுதியை ஒதுக்கவேண்டும்.

1-2 அலகுகள்

L, T, M: நீளம், காலம், அடுக்கம்(frequency), திசைவேகம், பரப்பளவு, பருமன் (volume), நிறை, அடர்த்தி, மின்னூட்டம், வெப்பநிலை ஆற்றல் ஆகிய பௌதிகராசிகளின்(Physical quantities) அளவீட்டைப்பற்றி பௌதிகத்தின் பெரும்பகுதி கூறுகிறது. இந்த அளவுகளுள் பல ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புள்ளவை. காட்டாக நீளத்தைக் காலத்தால் வகுத்தால் திசைவேகம் கிடைக்கும். நிறையைப் பருமனால் வகுத்தால் அடர்த்தி கிடைக்கும். பருமன் என்பது மூன்று நீளங்களின் பெருக்கற் பலனாகும். பௌதிகராசிகளுள் பல நீளம், காலம், நிறை ஆகியவற்றுடன் தொடர்புகொண்டுள்ளன.

நீளம்: நீளம், பரப்பளவு, பருமன் ஆகியவற்றிற்கான வரையறைகள் யூக்ளிட் வடிவியலில் (Eucledean Geometry) கூறப்

அட்டவணை 1-1 தொலைவுகளின் பரிமாண வரிசை

தொலைவுகள்
சென்டி
மீட்டரில்

நிழற்படமெடுக்கப்பட்ட மிகத் தொலைவிலுள்ள விண்மீன் மண்டலத்தின் தொலைவு

10^{25}

ஆண்ட்ரோமெடாவில் உள்ள பெரிய நெபுலாவின் தொலைவு (மிக அண்மையிலுள்ள விண்மீன் மண்டலம்)

நமது விண்மீன் மண்டலத்தின் ஆரம்

10^{20}

ஓர் ஒளியாண்டு(ஓராண்டில் ஒளிசெல்லும் தூரம்)

சூரியமண்டலத்தின் அளவு

10^{15}

புவியிலிருந்து சூரியனுக்குள்ள தூரம்

சூரியனின் ஆரம்

10^{10}

புவியின் ஆரம்

எவரெஸ்ட் குன்றின் ஆரம்

10^{5}

ஒரு கி.மீ. அல்லது 6/10 மைல்

ஒரு மீட்டர் அல்லது ஒரு கெஜம்

10^{0}

ஒரு செ.மீ. அல்லது 4/10 அங்குலம்

ஒரு மி.மீ. உரோமத்தின் தடிப்பு

சிவப்பு இரத்த அணுவின் விட்டம்

ஒளியின் அலைநீளம்

10^{-5}

உயிரியக்க மூலக்கூறுகளின் அளவு

ஹைடிரஜன் அணுவின் விட்டம்

10^{-10}

யுரேனியம் அணுக்கருவின் விட்டம்

அடிப்படைத் துகள் ஒன்றின் விட்டம்

10^{-15}

பட்டுள்ளன. நீளத்திற்கு மீட்டர், அங்குலம், அடி, மைல், சென்டிமீட்டர் போன்ற படித்தர அலகுகள் பல இன்று வழக்கி லுள்ளன. ஐக்கிய நாடுகள், பிரிட்டிஷ் காமன்வெல்த் நாடுகள் ஆகியவற்றுள் ஒரு பகுதியைத் தவிர உலகின் எல்லா நாடுகளும் மெட்ரிக் முறையை இப்போது பின்பற்றுகின்றன. ஐக்கிய நாடுகளில் இன்றும் ஆங்கிலமுறை அலகுகளே முறையான அலகு களானாலும் அமெரிக்க விஞ்ஞானிகள் மெட்ரிக் முறையையே பின் பற்றுகின்றனர். ஒருசில ஆங்கிலமுறை அலகுகளைப் பயன்படுத்து வதோடு இந்நூல் முழுவதிலும் மெட்ரிக் முறையையே நாம் பயன் படுத்துவோம்.

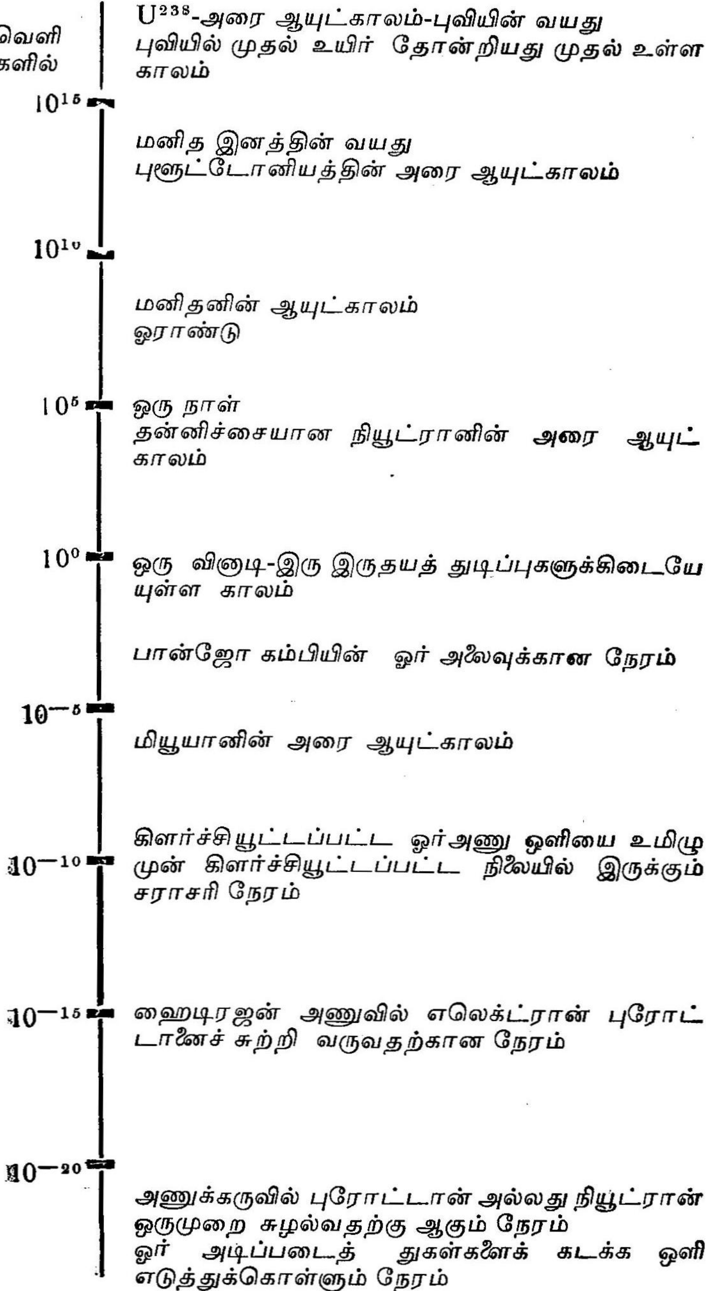
மீட்டரானது முதன்முதலில் வடதுருவத்திற்கும் நிலநடுக் கோட்டிற்கும் இடையிலுள்ள தொலைவின் அடிப்படையில் வரை யறுக்கப்பட்டது. இத் தொலைவு 10,000 கிலோமீட்டர்கள் அல்லது 10^7 மீட்டர்களுக்குச் சற்றேறக்குறையச் சமமாகும். உலகின் படித் தர மீட்டர் என்பது ஃபிரான்சில் எடைகள் மற்றும் அளவுகளுக் கான அனைத்துலக அலுவலகத்தில் (International Bureau of Weights and Measures) வைக்கப்பட்டுள்ள பிளாட்டின உலோகக் கலவையாலான தண்டு ஒன்றில் உள்ள இருகோடுகளுக்கிடையே யுள்ள தொலைவுக்குச் சமமாகும். எனினும், ஓர் உலோகத் தண்டி லுள்ள இரு கோடுகளுக்கிடையேயுள்ள தொலைவைவிட நீளத்திற் கான மிக மிக நுட்பமான ஓர் அலகை இயற்கையன்னை நமக்கு அளித்திருக்கிறாள். ஃபிரான்சில் உள்ள படித்தரமீட்டரானது ஒரு குறிப்பிட்ட நிறமாலைக் கோட்டின் ஒளிஅலை நீளங்களின் அடிப் படையில் மதிப்பிடப்பட்டுள்ளது. ஓர் அங்குலமானது 2.54 சென்டிமீட்டருக்குச் (100 சென்டிமீட்டர் = 1 மீட்டர்) சரியாகச் சமமாகுமாறு ஐக்கிய நாடுகளில் வழங்கும் அங்குலம் படித்தர மீட்டரின் அடிப்படையில் வரையறுக்கப்படுகிறது.

மற்ற மாற்றுதல்கள் பின் இணைப்பில் தொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அன்றாடக் கணக்கைத் தீர்வு காண்பதற்கு ஆங்கில அலகுகளை மெட்ரிக் அலகுகளாக மாற்றுவது அடிக்கடி இன்றியமையாத தாகிறது.[1] அட்டவணை 1-1 பௌதிகத்தில் இடம்பெறும் மிகச் சிறிய நீளம் (அடிப்படைத் துகள்களின் விட்டம்) முதல் மிகப் பெரிய நீளம் (மிகத்தொலைவிலுள்ள விண்மீன் மண்டலத்தின்-galaxy-தொலைவு) ஈறாக உள்ள பல நீளங்களைக் காட்டுகிறது.

காலம்: காலம் என்பது ஒரு பௌதிகக் கருத்தாதலால் அதன் வரையறை குறிப்பிட்ட சில இயற்பியல் விதிகளுடன் தொடர்பு

[1] சென்டிமீட்டரை செ.மீ. என்றும் மீட்டரை மீ. என்றும் கிலோமீட்டரை கி.மீ. என்றும் அங்குலத்தை அங். என்றும் சுருக்கமாகக் குறிப்பிடுவோம்.

அட்டவணை 1-2 நேர அளவுகளின் அட்டவணை



கொண்டுள்ளது. காட்டாக, புவியின் சுழற்சிக்காலம் மிகவும் நுட்பமான அளவிற்கு மாறிலியாக இருக்க வேண்டுமென்று பௌதிக விதிகள் கூறுகின்றன. இவ் வுண்மையை, சராசரி சூரிய நாள் எனப்படும் காலத்தின் அடிப்படை அலகு ஒன்றை வரையறுப்பதற்குப் பயன்படுத்தலாம். மேலும், வெப்பநிலையும் மற்றும் வெளிப்புறச் சூழ்நிலைகளும் மாறுமலிருக்குமாயின் படிக அலைப்பானிலுள்ள (crystal oscillator) அலையும் படிகத்தகடு ஒன்றின் அலைவு நேரம் மாறிலியாயிருக்குமென்று பௌதிக விதிகள் கூறுகின்றன. எனவே, ஒரு படிக அலைப்பானை மிக நுட்பமான கடிகாரமாகச் செய்யலாம். அவ்வாறே ஒரு மூலக்கூறிலுள்ள அணுக்களின் அலைவு அடுக்கமும் மாறிலியாகும். உண்மையில், இந்த அலைவுகளைக் கணிக்கும் அணுவியல் கடிகாரங்களே மற்றக் கடிகாரங்களைக் காட்டிலும் மிகவும் நுட்பம் வாய்ந்தவையாகும். ஆங்கில முறையிலும் மெட்ரிக் முறையிலும் பயன்படுத்தப்படும் காலத்தின் அடிப்படை அலகு ஒரு விநாடியாகும். அது சராசரிச் சூரிய நாளில்,

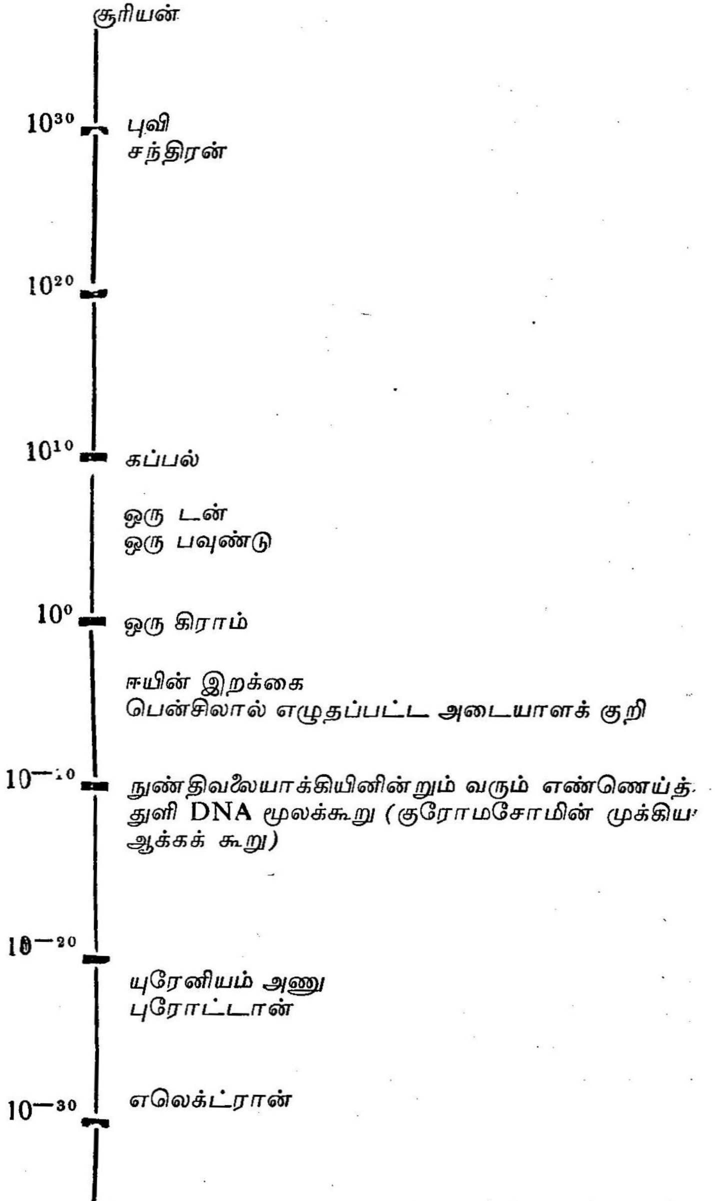
$$1/60 \times 1/60 \times 1/24 = 1/86,400$$

பகுதியாகும். (விநாடியை வி.என்று சுருக்கமாகக் குறிப்பிடுவோம்). அட்டவணை 1-2 ஒளியானது அடிப்படைத் துகள் ஒன்றைக் கடப்பதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் முதல் புவியின் வயதுவரை உள்ள இயற்பியலில் இடம்பெறும் பல்வேறு கால இடைவெளிகளைக் காட்டுகிறது.

காலம் போன்ற ஒரு கருத்திற்கு பௌதிக விதிகளை அடிப்படையாகக் கொள்ளும்போது அவ் விதிகள் முழுதும் சரியானவை என்று உறுதியாய்க் கூறமுடியாது. காட்டாக, ஒளியின் வேகமானது காலம் செல்லச்செல்லச் சிறிதுசிறிதாக அதிகமாகிறது என்று கொள்ளலாம். இது, நீளம் காலம் ஆகியவற்றிற்கான நமது படித்தர அலகுகளை மாற்றும். அனைத்தின (universal) பௌதிக மாறிலிகள் காலத்துடன் மாறுகின்றன என்பதற்கான சோதனையியல் ஆதாரம் (experimental evidence) எதுவும் இதுவரை கிடையாது. ஆனால், இந்த உண்மையானது அம் மாறிலிகளின் தற்கால அளவீடுகளின் நுட்பத்திற்கு அப்பாற்பட்ட அளவு மிக மெதுவாக மாறக் கூடிய சாத்தியக் கூறினை விலக்கித் தள்ளவில்லை. இயற்பியலின் 'புனிதமான' விதியொன்றைச் சோதனை மூலம் கிடைத்த குறிப்புகள் பொய்யாக்குவது வழக்கத்திற்கு மாறானதல்ல என்பதை இந் நூலைப் படிக்கும்போது நாமறியக் கூடும். வழக்கிலிருக்கும் பௌதிக 'விதிகளை'ப் பற்றிப் பரந்த நோக்கு உள்ளவர்களாக இருப்பதற்கு நாம் கற்றுக்கொள்ளவேண்டும். மேலும், சோதனை மூலம் கிடைக்கும் ஆதாரங்கள் அவற்றிற்கு எதிராகத்

அட்டவணை 1-3 நிறை மதிப்புகளின் வரிசை

நிறை கிராமில்



தோன்றுமாயின் அவ் விதிகளை மாற்றுவதற்கும் தயாராய் இருக்க வேண்டும்.

நிறை: நிறையும் ஒரு பௌதிகக் கருத்தேயாதலால் அதனையும் குறிப்பிட்ட சில பௌதிக விதிகளின் அடிப்படையில் வரையறுக்க வேண்டும். மூன்றும் இயலில் உந்தம் அழிவின்மை விதியின் அடிப் படையில் நிறையின் புதிய வரையறை ஒன்றை இந் நூலில் காணலாம். மெட்ரிக் முறையில் நிறையின் அலகானது முதலில் (ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலை, அழுத்தத்தில் 1 க. செ.மீ. (கன சென்டிமீட்டர்) நீரில் அடங்கியுள்ள நிறை என வரையறுக்கப் பட்டது. அந்த நிறையின் அளவு கிராம் எனப்படுகிறது. இவ்வாருக, நீரின் அடர்த்தியானது கன சென்டிமீட்டருக்கு ஒரு கிராம் என வசதியான முறையில் அமைந்துள்ளது. ஆங்கில முறையில் நிறையின் அலகானது ஒரு பவுண்டு ஆகும். ஒரு கிலோ கிராம்(10^3 கிராம்) $= 2.204$ பவுண்டு நிறை[1]யாகும். அட்டவணை 1-3 பௌதிகத்தில் இடம்பெறக்கூடிய சில நிறைகளைக் காட்டு கிறது.

பௌதிகத்தில் விசை, ஆற்றல் போன்ற ராசிகள் வழக்கமாக மீட்டர்கள், கிலோகிராம்கள், விஞடிகள் ஆகியவற்றின் அடிப் படையிலோ சென்டிமீட்டர்கள், கிராம்கள், விஞடிகள், ஆகியவற்றின் அடிப்படையிலோ அளவிடப்படுகின்றன. முதல் முறை MKS முறை என்றும், இரண்டாவது முறை CGS முறை என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. இந் நூலில் இரு முறைகளும் கையாளப்படுகின்றன.

1-3 பௌதிகத்தில் கணிதம்

$$10^a \times 10^b = 10^{a+b}$$

பௌதிகத்தில் ராசிகளை மிக அதிக நுட்பமாக அளவிடவும் கணக்கிடவும் முடியும். இதற்குக் கணித அறிவு தேவையாகிறது. நற்பயன்வசமாக அடிப்படை இயற்கணிதம் (algebra), வடிவியல் (geometry) ஆகியவற்றை மட்டும் பயன்படுத்தி இயற்பியலில் உள்ள பல அடிப்படைத் தத்துவங்களையும் கருத்துகளையும் மிக நன்ருகப் புரிந்துகொள்ளலாம். இது, இயற்கையின் அடிப்படை விதிகளின் பொதுப் பண்பெனத் தோன்றக் கூடியதன், அதாவது, உண்மையை நெருங்க நெருங்க அடிப்படை விதிகள் மேலும் மேலும் எளிதாக நேருகின்றன என்ற தத்துவத்தின் விளைவாகும்.

[1] கிராம் என்பதை கி. என்றும் கிலோகிராம் என்பதை கி.கி. என்றும் பவுண்டு என்பதைப் பவு. என்றும் சுருக்கமாக அழைக்கலாம்.

இத் தத்துவத்தை மெய்யுணர்விகள் (Philosophers) ஓகமின் கத்தி (Ockam's razor) என அழைக்கிறுர்கள். முப்பொருள் பிரச்சினை (three-body problem) (ஒன்றுக்கொன்று செயலெதிர்ச் செயற்படும் பொருள்களின் இயக்கம்) என்றழைக்கப்படும் அடிப்படையில்லாத ஒன்றைக் கணக்கிட முயலும்போது கடின கணிதம் பயன்படுவது வழக்கம். முப்பொருள் பிரச்சினை என்பது அடிப்படையானதுஅன்று ஏனெனில், அது உண்மையில் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புகொண்ட இருபொருள் பிரச்சினைகள் மூன்றின் ஒருங்கியைவு (super position) ஆகும். எதிர்விகித இருமடி விசையின் செயலால் செயலெதிர்ச் செயற்படும் இரு பொருள்களின் பாதைகளாகிய உண்மையிலேயே அடிப்படைத் தன்மை வாய்ந்த பிரச்சினைக்குப் பலநூறு ஆண்டு கட்கு முன்னரே ஐசக் நியூட்டன் தீர்வு கண்டார். வானியலின் (astronomy) இருபொருள் பிரச்சினைக்கு எளிய கணிதத்தைப் பயன் படுத்தித் தீர்வு காணலாம். (இயல் .4-ன் பின்னிணைப்பைப் பார்க்க). ஆனுல், முப்பொருள் பிரச்சினைக்கு நுட்பமாகத் தீர்வு காண்பதற்குப் பெரிய மின்னியக்கக் கணிப்பான் (electronic computor) ஒன்று தேவைப்படுகிறது. ஒரு மனிதன் தன் கையினுல் பல வாரங்கள் செய்யக் கூடிய கணக்கீட்டினை மின்னியக்கக் கணிப் பான் ஒரே நொடியில் செய்யக்கூடும். மின்னியக்கக் கணிப்பான் களின் தொழில்நுட்ப அறிவு இன்னும் தொடக்க நிலையிலேயே இருப்பினும் தொழில் துறையிலும் பௌதிகத்திலும் இன்னும் மற்ற அடிப்படை ஆராய்ச்சித் துறைகளிலும் அவை பெரிதும் பயன் படுத்தப்படுகின்றன.

இந் நூலைப் படித்து முழுவதும் தேர்ச்சிபெறத் திரிகோண வியல் (Trigonometry) நுண்கணிதம் (Calculus) அல்லது உயர் கணித வகைகள் ஆகியவற்றின் அறிவு தேவையில்லை. மாருக, உயர்நிலைப் பள்ளி இயற்கணிதத்தின் சில பகுதிகளில் தேர்ந்த செயல்முறை அறிவு தேவையாகிறது. பெரும்பாலான மாணவர்கள் கல்லூரியில் பௌதிகத்தைப் பயிலத் தொடங்கும் சமயத்தில் இயற்கணிதத்தைப் பயன்படுத்தியிருக்க மாட்டார்கள். அத்தகைய மாணவர்கள் இந் நூலைப் படிக்கத் தொடங்குமுன் தாங்கள் கற்ற கணிதத்தை மறுசீராய்வு(review)செய்தல்வேண்டும். இதற்காக இந்த இயலின் முடிவில் கணித வினுக்கள் தரப்பட் டுள்ளன. இந்த இயலின் எஞ்சிய பகுதி இந் நூலைச் சார்ந்த தைப்பற்றிய ஒரு மறுசீராய்வு ஆகும்.

கணிதத்தை மறுசீராய்வு செய்யவேண்டுமா வேண்டாமா என்ற ஐயப்பாடுடையவர்களுக்கெனப் பின்வரும் சோதனைப் பட்டியல் தரப்பட்டுள்ளது.

கீழ்வருவனவற்றுள் பிழையுள்ளவற்றைக் குறிப்பிடவும்.

1. $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$ என்றால் $R=R_1+R_2$.

2. $(a+b)^2=a^2+b^2$

3. ஒரு வட்டத்தின் விட்டம் 10^{-8} சென்டிமீட்டர் என்றால் அதன் ஆரம் 10^{-4} செ.மீ.

4. மேற்கூறிய வட்டத்தின் ஆரம் 5^{-8} செ.மீ.

5. $$\frac{A}{B}+\frac{X}{Y}=\frac{A+X}{B+Y}$$

6. 60° செங்கோண முக்கோணத்தின் சிறிய பக்கம் 1செ.மீ. என்றால் அதன் கர்ணம் $=\sqrt{3}$ செ.மீ.

7. 4ஐ $\frac{1}{2}$ஆல் வகுத்தால் 2

8. $\sqrt{16\ ab}=4\ ab$

9. $\sqrt{10^3}=5^3$

10. $$\frac{1}{a+b}=\frac{1}{a}+\frac{1}{b}$$

11. a, b ஆகியவை எதிர்க்குறியுடையனவாயும் b/a, ஒன்றைவிட அதிகமாகவுமிருப்பின் $(a-b)$ எதிர்க்குறியுடையதாக இருக்கும்.

மேற்கூறிய பட்டியலுக்கான சரியான விடை அவை ஒவ்வொன்றும் பிழை என்பதாகும். ஒருவர் மேற்கூறியவற்றுள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்டவற்றிற்குத் தவறாக விடையளித்திருப்பின் அவர் இந்த இயலின் இறுதியில் தரப்பட்டிருக்கும் கணக்குகளைச் செய்யாமல் இந் நூலைப் படிக்கத் தொடங்குவதற்குத் தகுதியற்றவர் எனத் தம்மைக் கருதிடல் வேண்டும். அவற்றின் சரியான விடைகள் பின்வருமாறு:

1. $$R=\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}$$

2. $(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$

3,4. ஆரம் $= 5 \times 10^{-9}$ செ.மீ.

5. $$\frac{A}{B}+\frac{X}{Y}=\frac{AY+BX}{BY}$$

6. கர்ணம் = 2 செ.மீ.

7. $\frac{4}{\frac{1}{2}} = 8$

8. $\sqrt{16ab} = 4\sqrt{ab}$

9. $\sqrt{10^3} = 10\sqrt{10}$

10. $\frac{1}{a+b} = (a+b)^{-1}$

11. $(a-b)$ நேர்க்குறியுடையதாயிருக்கும்.

பத்தின் மடிகள் (Powers of ten): பௌதிகத்தில்வரும் பல அளவுகள் ஒன்றைவிட மிகப் பெரியனவாகவோ ஒன்றைவிட மிகச் சிறியனவாகவோ இருக்கின்றன. எந்த ஓர் அளவையும், அவை பெரியதாயினும் சிறியதாயினும், பத்தின் தக்க மடியின் ஒன்றுமுதல் பத்துவரையிலுள்ள எண்ணின் மடங்காக எழுதுவது வழக்கம். ஐக்கிய நாடுகளின் தேசியக் கடனை 2.95×10^{11} டாலர்கள் அல்லது 2.95×10^{5} மெகாபக்குகள் (megabucks) என ஒரு பௌதிகர் எழுதக்கூடும். பத்தின்மடி தசமத் தானத்தை வலப்புறம் எத்தனை இடங்கள் தள்ளவேண்டும் என்பதைக் கூறுகிறது. பத்தின்மடிகளிலின்றித் தேசியக்கடனை எழுத வேண்டுமாயின் தசமத்தானத்தை 11இடங்கள் வலப்புறம் தள்ளி \$295,000,000,000 என்று எழுதலாம். மடியெண் எதிர்க்குறியுடையதாக இருப்பின் தசமத்தானத்தை அத்தனை இடங்கள் இடதுபுறம் தள்ளவேண்டும். காட்டாக, ஹைடிரஜன் அணுவின் ஆரம் 5×10^{-9}செ.மீ.எனில் அது 0.000,000,005 செ.மீ. ஆகும்.

இம் முறையில் குறிப்பிடப்படும் எண்ணிக்கைகளைப் பெருக்குவதற்கும் வகுப்பதற்கும் $10^a \times 10^b = 10^{a+b}$, $\frac{10^a}{10^b} = 10^{a-b}$ என்ற தொடர்புகளைப் பயன்படுத்துகிறோம்.

மாதிரிக் கணக்கு

அணு உலை ஒன்று நாள் ஒன்றுக்கு 1 கிராம் யுரேனியத்தை ஆற்றலாக மாற்றுகிறது. அதன் திறன் வெளியீட்டை வாட்டுகளில் கணக்கிடுக.

திறன் என்பது ஓரலகு நேரத்தில் வெளிவிடப்படும் ஆற்றலாகும். MKS அலகு முறையைப் பின்பற்றுவோமாயின் திறன்

வாட்டுகளில் இருக்கும். ஐன்ஸ்டீனின் புகழ்வாய்ந்த $W=Mc^2$ என்ற நிறைஆற்றல் தொடர்பைப் பயன்படுத்தி ஆற்றலைக் கணக்கிடலாம். தொடர்பில் c என்பது ஒளியின் வேகம்; அதன்மதிப்பு 3×10^8 மீ/வி ஆகும். நிறைக்கும் ஆற்றலுக்கும் இடையேயுள்ள இணைமாற்றை 5,11 ஆகிய இயல்களில் காணலாம்.

$$\text{எனவே திறன்} = \frac{Mc^2}{t}$$

$M=10^{-3}$ கி.கி. $t=60\times60\times24$ வி. $=8.64\times10^4$ வி. எண்மதிப்புகளைப் பயன்படுத்துவேமாயின்,

$$\text{திறன்} = \frac{10^{-3}\times(3\times10^8)^2}{8.64\times10^4} \text{ வாட்டுகள்}$$

$$= \frac{10^{-3}\times(9\times10^{16})}{8.64\times10^4} \text{ வாட்டுகள்}$$

விடையில் பத்தின் மடியானது பகுதி எண்ணிலுள்ள (denominator) மடிகளின் கூட்டுத்தொகையைத் தொகுதி எண்ணிலுள்ள (numerator) மடிகளின் கூட்டுத்தொகையிலிருந்து கழிக்கக் கிடைப்பதாகும். இறுதிமடி $(-3+16)-4$ அல்லது 9 ஆகும். இவ்வாறாக

$$\text{திறன்} = \frac{9}{8.64}\times10^9 \text{ வாட்டுகள்}$$

$$\text{திறன்} = 1.04\times10^9 \text{ வாட்டுகள்.}$$

அல்லது ஏறத்தாழ 1 மில்லியன் கிலோவாட்டுகள். இது ஐக்கிய நாடுகளில் ஒரு சராசரி மாநிலத்தால் பயன்படுத்தப்படும் திறனின் அளவாகும்.

பத்தின் மடிகளைப் பயன்படுத்துவதற்கான விதிகளை மறுசீராய்வு செய்த நாம் 10^{-8}-ல் பாதி 10^{-4} இல்லை; 5^{-8}ம் இல்லை என்பது எவ்வாறு என்று காண்போம். 10^{-4}-ஐ

$$10^{-4} = 10^4\times10^{-8}$$

என எழுதலாம். இவ்வாறாக 10^{-4} என்பது சரியான விடையின் 20,000 மடங்கு என்பது தெளிவாகும். கல்லூரி மாணவர்கள் தரும் மற்றொரு வழக்கமான விடை 5^{-8}. அதனை,

$$5^{-8} = \left(\frac{10}{2}\right)^{-8} = \frac{10^{-8}}{2^{-8}} = 2^8\times10^{-8} = 256\times10^{-8}$$

என எழுதலாம். இந்த விடை சரியான விடையாயின் 512 மடங்கு என்பது தெளிவாகும்.

பின்ன மடிகள்: N-ன் a-வது மடியை N-ன் b-வது மடியால் பெருக்குவதற்கான பொதுவான விதி,

$N^a \times N^b = N^{a+b}$ ஆகும்.

a, b ஆகிய இரண்டையும் $\frac{1}{2}$ எனக் கொள்வோமாயின்,

$N^{1/2} \times N^{1/2} = N$ என்ருகும். இவ்வாருக

$$N^{1/2} = \sqrt{N}$$

அவ்வாறே $N^{1/3}$ என்பது N-ன் மும்மடி மூலமாகும் (cube root). $N^{2/3}$ என்பது $(N^{1/3})^2$, அல்லது N-ன் மும்மடி மூலத்தின் இருமடியாகும். மேலும், அது $(N^2)^{1/3}$ அல்லது N-ன் இருமடிப் பெருக்கத்தின் மும்மடி மூலமாகும்.

மதிப்புடை இலக்கங்கள் (Significant figures)**:** திசைவேகத்தை அளவிடுவதற்கான ஒரு சோதனையில் ஒரு பொருள் சரியாக 3 வினாடி நேரத்தில் 10 செ.மீ நகருவதாகக் கொள்வோம்.

$$\text{எனவே } v = \frac{10 \text{ செ.மீ}}{3 \text{ வினாடி}} = 3.33333 \text{ செ.மீ/வி.}$$

$\frac{10}{3}$-ஐத் தசமப் பின்னமாகக் குறிப்பதற்கு எத்தனை தசமத் தானங்களைப் பயன்படுத்துவது என்பது ஒரு பிரச்சினையாகும். விடையின் நிச்சயமான மதிப்பைவிட ஒரு தசமத்தானம் அதிகமாகப் பயன்படுத்துவது மரபு. இவ்வாருக 10 செ.மீ. என்பதனை 1%-க்கு நுட்பமாக அளவிட்டிருந்தால் விடையை $v = 3.33 \pm 0.03$ செ.மீ/வி எனக் குறிக்கலாம். v-ன் உண்மையான மதிப்பு 3.30 செ.மீ/வி-க்கும் 3.36 செ.மீ/வி-க்கும் இடையில் இருப்பதால் விடையில் முதல் இரண்டு 3-களும் மதிப்புடை இலக்கங்களாகும். கடைசி தசமத்தானம் நிச்சயமற்ற ஒன்ருகும். விடையை $v = 3$ செ.மீ/வி அல்லது $v = 3.333$ செ.மீ/வி என்று எழுதுவது அரிதாகும். $v = 3.33$ செ.மீ/வி என எழுதுவதே வழக்கமாகும். அதிகமான தசமத்தானங்களைப் பயன்படுத்துவது என்பது மிகையானதோடன்றி தவருன கருத்தை ஏற்படுத்துவதாகவும் அமையும். அவ்வாறு எழுதுவதால் நம் விடையை அது உண்மையில் இருந்ததைவிட மேம்பட்டதாகக் கருதுவோம்.

$v = 3.33$ செ.மீ/வி என்னும் திசைவேகத்தை $v' = 4.51 \times 10^2$ செ.மீ/வி என்னும் திசைவேகத்துடன் சேர்க்கவேண்டியிருப்பதாகவும் v'-ம் 1%-க்கு நுட்பமாகத் தெரிந்திருப்பதாகவும் கொள்வோம்.

$$\begin{aligned} v &= 3.33 \text{ செ.மீ/வி} \\ v' &= 451.00 \text{ செ.மீ/வி} \\ \hline v + v' &= 454.33 \text{ செ.மீ/வி} \end{aligned}$$

விடையை 4.5433×10^2 செ.மீ/வி என்று குறிப்பிடும்போது நமது விடையின் நுட்பத் தன்மையை 10^4-ல் ஒருபகுதி என்று உணர்த்துவதைக் கவனத்தில் கொள்ளவேண்டும். விடையின் நுட்பத்தன்மை கூட்டப்படும் பகுதிகளின் நுட்பத்தன்மையைவிட மேம்பட்டதாக இருக்கமுடியாதாகையால் விடையை 454 ± 5செ.மீ/வி அல்லது 4.54×10^2செ.மீ/வி என்றே எழுதவேண்டும்.

பெருக்கலிலோ அல்லது வகுத்தலிலோ விடையின் நுட்பத் தன்மைச் சதவீதம் (percentage accuracy) அதில் பங்குபெறும் கூறுகளின் நுட்பத்தன்மையைவிட அதிகமாக இருக்கமுடியாது. ஒருகூறு 1% நுட்பத்தன்மையையும் மற்றோரு கூறு 1%-ல் 1/10 நுட்பத் தன்மையையும் பெற்றிருப்பின் அவற்றின் பெருக்கற்பலன் 1% நுட்பத்தன்மையைப் பெற்றிருக்கும்.

இந்நூலில் உள்ள அளவுகள் நுட்பத்தன்மையின் மதிப்பு வேறு விதமாகக் குறிக்கப்பட்டிருந்தாலன்றி 1% நுட்பத்துடன் குறிக்கப் பட்டுள்ளன. கணக்குகளும் அதே நுட்பத் தன்மையுடன்தான் போடப்படவேண்டும். இந்த நுட்பத்தன்மையை மலிவான நழுவுபடி அளவுகோல் (slide rule) களைக் கொண்டு பெறலாம்.

அலகு மாற்றம்: பௌதிகத்தில் பல கணக்கீடுகளில் அலகுகளை ஒரு அளவீட்டு முறையினின்றும் மற்றொரு அளவீட்டு முறைக்கு மாற்றுவது தேவையாகிறது. காட்டாக, 60மைல்/மணி என்னும் திசை வேகத்தை மீட்டர்/வி என மாற்றுவதாகக் கொள்வோம்.

$$60\ \frac{\text{மைல்}}{\text{மணி}} = 60 \times \frac{1\ \text{மைல்}}{1\ \text{மணி}}$$

இப்பொழுது 1 மைல் என்பதன் இணைமாற்றாகிய 1.61 கி.மீ-ஐப் பதிலீடு செய்தால்

$$60\ \frac{\text{மைல்}}{\text{மணி}} = 60 \times \frac{1.61\ \text{கி மீ}}{1\ \text{மணி}}$$

$$= 60 \times 1.61 \times \frac{1\ \text{கி.மீ}}{1\ \text{மணி}}$$

1 கி.மீ–க்கு 10^3 மீட்டர் என்றும் 1 மணிக்கு 60 நிமிடங்கள் என்றும் பதிலீடு செய்தால்

$$60\ \frac{\text{மைல்}}{\text{மணி}} = 60 \times 1.61 \times \frac{10^3\text{மீ}}{60\text{நி}}$$

$$= \frac{60 \times 1.61 \times 10^3}{60}\ \frac{\text{மீ}}{60\text{வி}}$$

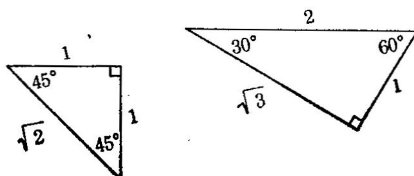
$$= 26 \cdot 8 \frac{\text{மீ}}{\text{வி}}$$

அலகுகளுக்கான இணைமாற்று அளவுகளைப் பதிலீடு செய்வதன் மூலம் அவற்றை ஒருமுறையிலிருந்து மற்றொருமுறைக்கு மாற்றலாம் என்பதை நாமறிகிறோம். ஒவ்வொரு அலகும் ஒரு எண் மதிப்பையும் பெற்றிருப்பதால் மேற்கூறிய எடுத்துக்காட்டில் உள்ளவாறு அலகுகளைத் தெளிவாக எழுதுவது இன்றியமையாததாகும். இயற்பியல் கணக்கு ஒன்றிற்கான விடையை எண் மதிப்பைத் தொடர்ந்து அலகுகளைத் தெளிவாக எழுதாமல் தரக் கூடாது.

வடிவியல்: முக்கோணங்கள், செவ்வகங்கள், வட்டங்கள், கன சதுரங்கள், உருளைகள், கோளங்கள் போன்ற எளிய வடிவங்களின் பரப்பளவுகளையும் பருமன்களையும் கணக்கிட நம்மால் இயல வேண்டும். கணக்கீட்டு விதிகள் (scaling laws) என்று சொல்லப் படும் விதிகளைப்பற்றி நாம் அறிந்திருக்க வேண்டும். காட்டாக, உயரத்திற்குச் சமமான விட்டத்தையுடைய, வெவ்வேறு அளவுகளுள்ள ஆரஞ்சு பழ டின்களைக் கருதுவோம். வடிவியல் மொழியில் அவை ஒத்த வடிவங்களையுடையன என அழைக்கப்படும். ஒரு சிறிய அளவு டின்னின் விலை 10 சென்ட்டுகள் எனவும் அதைப்போல் இருமடங்கு அளவுகளையுடைய(இருமடங்கு உயரம்) டின்னின் விலை 50 சென்ட்டுகள் எனவும் கொள்வோம். குடும்பத் தலைவிகளுள் பலர் 5 சிறிய டின்களில் உள்ள பழரசம் ஒரு இருமடங்கு டின்னில் உள்ள பழரசத்தைவிட அதிகமாக இருக்கும் என எண்ணக்கூடும். அத்தகைய தலைவி 8 சிறிய டின்கள் வாங்கும் ஒவ்வொரு முறையும் 30 சென்ட்டுகளை இழக்கிறாள். கணக்கீட்டு விதியின்படி ஒத்த வடிவங்களின் பருமன் அவற்றின் நீளஅளவின் மும்மடிக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கின்றன. 2-ன் மும்மடி 8 எனவே இருமடங்கு அளவுகளையுடைய டின் ஒரு சிறிய டின்னைப்போல் 8 மடங்கு பழரசத்தைக் கொண்டிருக்கும். பரப்பளவுகள் நீள அளவின் இருமடியைப் பொறுத்திருப்பதால் இருமடங்கு அளவுகளையுடைய டின் ஒரு சிறிய டின்னைப்போல் நான்கு மடங்கு மேற்பரப்பைக் கொண்டுள்ளது. இருமடங்கு அளவுகளையுடைய துவாலையின் விலை நான்கு துவாலைகளின் விலையைவிடக் குறைவாக இருப்பின் முன்னதை வாங்குவதன் மூலம் பணத்தை மிச்சப் படுத்தலாம்.

இந் நூலை அறிந்து கொள்ள பித்தகோரஸ் தேற்றத்தைப் பற்றியும் படம் 1-4-ல் காட்டியுள்ள இருவகை முக்கோணங்களைப் பற்றியும் ஒருவர் தெரிந்து கொள்ளவேண்டும். அவை பலரும் அறிந்த $30° - 60°$ செங்கோணமும் $45°$ செங்கோண முக்கோணமு

மாகும். செங்கோண முக்கோணம் ஒன்றின் கர்ணத்தின் இருமடி மற்ற இரு பக்கங்களின் இருமடிகளின் கூட்டல் தொகைக்குச் சம மாகும் என்று பித்தகோரஸ் தேற்றம் கூறுகிறது. மேலும், ஒத்த முக்கோணங்கள் இரண்டில் ஒத்த கோணங்கள் சமமாகவும் ஒத்த பக்கங்கள் நேர் விகிதத்திலும் இருக்குமென்று ஒருவர் அறிய வேண்டும். ஆங்காங்கே பயன்படுத்தப்படும் பயனுறு வடிவியல் தேற்றம் ஒன்று பின்வருமாறு: இரண்டு கோணங்களின் பக்கங்கள் முறையே நேர்குத்தாக இருப்பின் அக்கோணங்கள் சமமாக இருக்கும்.



படம் 1–4

வழக்கமான இரு செங்கோண முக்கோணங்கள்
a) 45° செங்கோண முக்கோணம் (b) 30°-60° செங்கோண முக்கோணம்

1-4 அறிவியலும் சமுதாயமும்.

பௌதிகம் பயனுறு துறையாயின்............ ?

பௌதிக உலகைப்பற்றி நாமறியும்போது ஏற்படும் முன்னேற்றங்களுள் பெரும்பாலும் ஒவ்வொன்றும் ஏதேனும் ஒருவகை நடைமுறைப்பயனுக்கு உரியதாகிறது. எனினும் இயற்பியலாளர்கள் அவர்களின் கண்டுப்பிடிப்புகளின் நடைமுறைப் பயன்களைப்பற்றிப் பொதுவாகக் கவலைப்படுவதில்லை. பௌதிகரின் கண்டுபிடிப்பினுல் மனிதகுலத்திற்கு உறுதியாக ஏற்படும் பயன் பொதுவாக அவ்வறிஞனின் முக்கிய குறிக்கோளல்ல என்பது பலருக்கு வியப்பையளிக்கலாம். இயற்கையின் இரகசியங்களை அறிவதிலும் பௌதிக உண்மையை மேன்மேலும் அணுகுவதிலுமே பௌதிகர்கள் மிகுந்த அக்கரை கொண்டுள்ளனர். அவை நடைமுறைப் பயனுடையனவா அல்லவா என்பதை அடுத்தே முக்கியத்துவம் உடையதாகும். நம்மைச் சுற்றியுள்ள உலகை அறிவதே ஒரு உயர்ந்த குறிக்கோளாகும். அத்தகைய அறிவைப் பெறுவது மனிதனுல் மட்டுமே முடியும். நமது அறிவியல் அறிவு நமது நவீன நாகரிகத்தின் மையக் கருத்தாகும். டைம் பத்திரிகையின் ஜனவரி 19, 1959 நாளிட்டப் பதிப்பில் அறிவியலாளரின் முக்கிய குறிக்கோள் மிக நன்ருகக் கூறப்பட்டுள்ளது. வளி ஆராய்ச்சியின்

உண்மையான நோக்கத்தை அப்பத்திரிகையின் அறிவியல் பதிப்பாசிரியர் பின்வருமாறு விளக்கியுள்ளார்:

அவனுடைய சூழ்நிலையை அறியவும் ஆராயவும் மனிதனுக்குள்ள நீடித்த, தணியாத ஊக்கமே வளிப்பயணத்தின் மிக எளிய அடிப்படையான குறிக்கோளாகும்..................மனிதன் உள்ளக் கிளர்ச்சிக்கும் அவனுடைய ஏவுகணைகளுக்கும் அது ஒரு மிகத் துணிவான செயலாகும். விண்மீன்களும் சந்திரனும் நீண்டகாலமாகவே மிகத் தொலைவிலுள்ளதும் எதிலும் அக்கறையற்றதுமான அண்டத்தின் சின்னங்களாகவும் மனிதனின் சிறப்பற்ற தன்மைக்கு (insignificance) ஒரு பழிக் கூறாகவும் (reproach) இருந்துவந்திருக்கின்றன. இப்போது மனிதன் முதல்முறையாகக் கிரகங்களையே சவாலுக்கு அழைக்கிறான்.

இறுதியாக மற்ற மிருகங்களிடமிருந்தும் அவனை வேறுபடுத்திக் காட்டும் அவனுடைய ஊக்கத்தினை விழிப்புள்ளதாக வைத்திருக்க வேண்டுமானால் மனிதன் இந்தச் சவாலை மறுக்கமுடியாது. கடலில் தங்கிய மனிதனின் முன்னோர்கள் இன்னமும் மீனாகத்தான் இருக்கிறார்கள்.

இந் நூலாசிரியரைப் பொறுத்தவரை மேலே சொல்லப்பட்ட கருத்து பௌதிகத்தைக் கற்பதற்கான இன்றியமையாத காரணமாகும். இந்த நவீன, தொழில் நுட்பமிகுந்த காலத்தில்-தானியங்கு இயந்திரங்கள், கதிர்வீச்சுக்கள், அணுக்கரு ஆற்றல், வான் வெளிப்பயணம், ஏவுகணைகள், அணுகுண்டுகள் உள்ள இக்காலத்தில் வசிக்கும் மனிதனுக்கு அறிவியல் அறிவால் ஏற்படும் பயன் மற்றுமொரு பொதுவாக வழங்கப்படும் காரணமாகும். அநேகமாக ஒவ்வொரு செய்திப் பத்திரிகையும் பௌதிகத்தைப் பற்றிய அறிவில்லாமல் முற்றிலும் புரிந்து கொள்ளமுடியாத கட்டுரைகளைக் கொண்டுள்ளது. அத்தகைய கட்டுரைகள் சிலவற்றை இவ்வியலின் தொடக்கத்தில் காணலாம். அவற்றுள் சில மிக இன்றியமையாத தலைப்புக்களைப் பற்றியவை. அத்தகைய இன்றியமையாத தலைப்புக்களைப்பற்றித் தகுதிவாய்ந்த கருத்து முடிவுகளை மேற்கொள்வதற்கு அறிவியல் அறிவு சிறிதும் இல்லாத மனிதர்களால் முடியுமா என்பது வியப்பிற்குரியதாகும். எனினும் அத்தகைய முடிவுகளிலேயே மனித சமுதாயத்தின் உயிர் நாடி அமைந்துள்ளது என்பது நாமறிந்தே.

கணக்குகள்:

1. மணிக்கு 60 மைல் என்பது வினாடிக்கு எத்தனை அடியாகும் ?

2. ஒரு குறிப்பிட்ட நிறமாலைக் கோட்டிலிருந்து கிடைக்கும் ஒளியின் அலைநீளம் 5.981×10^{-5} செ.மீ. 1 செ.மீ-ல் இந்த ஒளியின் அலைநீளங்கள் எத்தனை உள்ளன ?

3. புரோட்டான் ஒன்றின் விட்டம் 10^{-13} செ.மீ, நிறை 1.6×10^{-24} கிராம் என்றால் கி/செ.மீ³ கணக்கில் அதன் அடர்த்தி என்ன ?

4. x-ன் மதிப்பைக் காண்க: $a = \frac{x-1}{x+1}$

5. β-ன் மதிப்பைக் காண்க: $\beta = \frac{1}{1-\beta^2} = 1.25$

6. 4 கிராம் ஹீலியத்தில் $N_0 = 6.02 \times 10^{23}$ அணுக்கள் இருக்குமாயின் ஹீலியம் அணுவின் நிறை என்ன ?

7. ஒரு குறிப்பிட்டவகை சோப்பு ஒரே வடிவத்தையுடைய இரு அளவுகளில் கிடைக்கிறது. பெரிய அளவுடைய சோப்பின் நீளம் சிறியதைவிட 50% அதிகமானது. பெரியதில் சிறியதைவிட எவ்வளவு சோப்பு அதிகமாக உள்ளது ?

8. a-ன் மதிப்பைக் காண்க: $v = \sqrt{2as}$

9. படிக அலைப்பான் ஒன்றில் உள்ள படிகத்தின் அலைவு நேரம் 2.5×10^{-6} வி. அலைப்பானின் அடுக்கம் என்ன ?

10. இரண்டு கிராம் H_2-ல் $N_0 = 6.02 \times 10^{23}$ மூலக்கூறுகள் உள்ளன. ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறை (ஒவ்வொரு H_2 மூலக்கூறிலும் இரு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் உள்ளன) என்ன ?

11 கீழ்வரும் குறிப்புக்களைக் கொண்டு W-மதிப்பை e, R ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் காண்க:

$$W = \tfrac{1}{2} mv^2 + U$$

$$U = -\frac{e^2}{R}$$

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{e^2}{R^2}$$

12. கீழ்வரும் கோவைகளைச் சுருக்குக:

$$\frac{x^3 \times (4x)^2}{(2x)^4}, \quad \frac{(N^{2a})^3}{(N^6)^a}$$

13. கீழ்வரும் பின்னங்களைச் சுருக்குக:

$\frac{a^2-b^2}{b-a}$, $\frac{x^{2a}-x^a}{x^a+x^{2a}}$

14. v-ன் மதிப்பைக் காண்க: $M=\frac{M_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

15. x, y ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைக் காண்க:

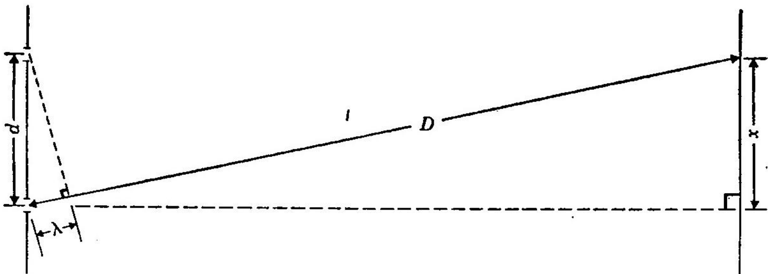
$x+y = -2$

$x-y = 8$

16. சமபக்க முக்கோணம் ஒன்றின் குத்துக்கோடு (altitude) 5 செ.மீ. அதன் பக்கம் என்ன ?

17. ஒரு குறிப்பிட்ட அலகின் அடிப்படையில் நியூட்ரானின் நிறை 939.506 புரோட்டானின் நிறை 938.213 ஆகும். அதே அலகின் அடிப்படையில் இரு நிறைகளுக்குமுள்ள வேறுபாடு என்ன ? அதில் உள்ள பொருளுடை-இலக்கங்கள் எத்தனை ?

கணக்கு 18



18. $D = 1$ மீ, $d = 0.1$மி.மீ. $\lambda = 5 \times 10^{-5}$ மி.மீ என்றால் x-ன் மதிப்பை செ.மீ-ன் அடிப்படையில் கணக்கிடுக.

19. 100 மீட்டர் தொலைவில் உள்ள ஒரு பொருள் 1° கோணத்தை அமைக்கிறது. அதன் உயரம் என்ன ? (குறிப்பு: 1° என்பது ஒரு வட்டத்தில் 1/360 பகுதியாகும். எனவே பொருளானது 100 மீட்டர் வட்டத்தின் பரிதியின் 1/360 பகுதிக்குச் சமமான உயரத்தைப் பெற்றிருக்கும்).

20. ஒரு குறிப்பிட்ட நெடுஞ்சாலை ஒவ்வொரு 100 அடிக்கும் 3 அடி உயருகிறது. கிடைமட்டத்துடன் நெடுஞ்சாலை அமைக்கும் கோணம் என்ன ?

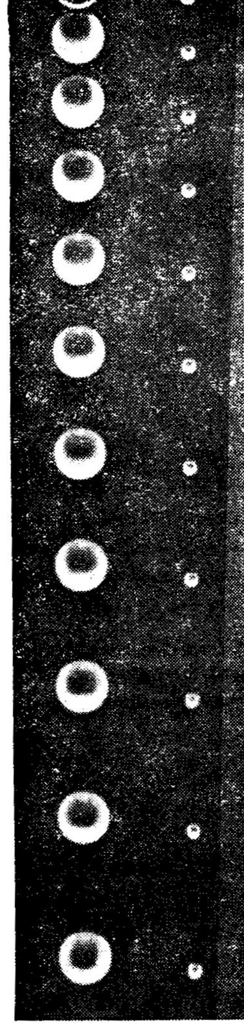
21. கீழ்வரும் சமன்பாடுகளிலிருந்து t நீங்கிய x, y மட்டும் அடங்கிய சமன்பாட்டைக் காண்க:

$$\begin{cases} x = v_x t \\ y = v_y t - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$$

22. ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 1100 அடியாகும். விநாடிக்கு 60 அலைவுகள் கொண்ட அடுக்கத்திற்குச் சரியான அலைநீளம் என்ன ? (ஒலி அலை 1/60 விநாடியில் செல்லும் தூரம் என்ன?)

23. கீழ்க்கண்ட தொடர்புகளிலிருந்து t நீங்கிய, x மட்டும் அடங்கிய கோவையைப் பெறுக. x நீங்கிய, t மட்டும் அடங்கிய கோவையையும் பெறுக:

$$\begin{cases} x' = \dfrac{x + \beta ct}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\ c\,t' = \dfrac{ct + \beta x}{\sqrt{1 - \beta^2}} \end{cases}$$



இயக்கவியல்
(Kinematics)

இயல் 2

2. இயக்கவியல்

2-1 திசை வேகம்

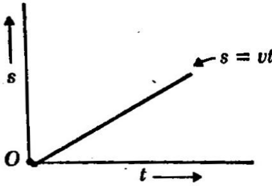
வேகமானி அளவீடு

இயக்கவியல் என்பது இயக்கத்தைப்பற்றிய ஆய்வாகும். இயக்கவியலில் ஒரு துகளின் நிலை, திசைவேகம், முடுக்கம் ஆகியவற்றைப் பற்றி அறிகிறோம். ஆய்வுக்குரிய இயக்கத்தைப் பெற்றுள்ள துகள் அல்லது பொருளின் தன்மையைப் பற்றி நாம் எதுவும் குறிப்பிடுவதில்லை. தானியங்கு வண்டிகள் (automobiles) உள்ள இக்காலத்தில் திசைவேகம் என்பது குழந்தைப் பருவத்திலேயே நாமறிந்த ஒரு கருத்தாகும். வேகமானியானது ஒரு காரின் உடனுரு (instantaneous) திசைவேகத்தை மணிக்கு எத்தனை மைல் என்று காட்டுகிறது.

மாறுத திசைவேகம்: ஒரு கார் மாறுத திசைவேகத்துடன் இயங்குமாயின் அது கடக்கும் தொலைவு நேரத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. மாறுத திசைவேகம் v எனில் t நேரத்தில் கடந்த தொலைவு

$$s = vt$$

ஆகும். படம் 2-1-ல் சீரான திசைவேகத்துடன் (uniform velocity) இயங்கும் ஒரு பொருளுக்கான s-க்கும் t-க்கும் இடையே ஒரு வரைபடம் வரையப்பட்டுள்ளது. மேற்கண்ட சமன்பாட்டின் இரு



மாறுத வேகத்துடன் செல்லும் பொருளின் s-க்கும் t-க்குமிடையே வரையப்பட்ட வரைப்படம்.

படம் 2-1

புறங்களையும் t ஆல் வகுத்தால், v மாருமல் இருக்கும்போது,

$$v = \frac{s}{t} \quad (2\text{-}1)$$

கணப்போது திசைவேகம்: இனி, பொதுவாகக் காணப்படும், நேரத்தைப் பொறுத்து மாறுபடும் திசைவேகத்தைப் பற்றிப் பார்ப்போம். பிரிவு 2-3வரை திசைமாருது, எண் மதிப்பு மட்டும் மாறக்கூடிய திசைவேகத்தைப் பற்றிப் பார்ப்போம். ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் அல்லது ஒரு நேர்கோட்டில் நிகழும் இத்தகைய இயக்கம் ஒற்றைப் பரிமாண (one dimensional) இயக்கம் எனப்படும்.

ஒரு கார் முடுக்கம் (Acceleration) கொண்டுள்ளதாக (அதன் வேகம் அதிகமாகலாம் அல்லது குறையலாம்)க் கருதுவோம். இனி, s-ன் மிகக் குறைந்த மதிப்பைப் பயன்படுத்திஞலன்றி சமன் 2-1 வேகமானியின் அளவீட்டிற்குத் தவருன விடையை அளிக்கும். மிகக் குறைந்த தொலைவைக் குறிக்க Δs என்ற குறியீட்டையும், Δs என்ற தொலைவைக் கடக்க எடுத்துக் கொண்ட நேரத்தைக் குறிக்க Δt என்ற குறியீட்டையும் பயன்படுத்துவோம்.

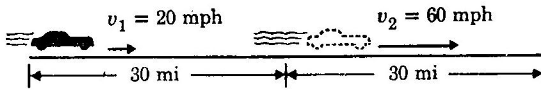
$$\text{கணப்போது திசைவேகம் } v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2\text{-}2)$$

என கணப்போது திசைவேகத்தை வரையறுக்கலாம்.

இன்னும் சரியாகக் கூறுவோமாஞல்

$$v = \lim_{\Delta t \to o} \left[\frac{\Delta s}{\Delta t}\right]$$

மேலேயுள்ள சமன்பாடு, Δt சுழியை நெருங்கும் போது $\frac{\Delta s}{\Delta t}$-ன் மதிப்பு v-க்குச் சமம் என்பதைக் குறிக்கிறது. இது கணப்போது திசை வேகத்தின் மிகவும் சரியான கணிதவியல் வரையறை ஆகும்.[1]



படம் 2-2

முதல் பாதித் தொலைவில் v_1 என்ற திசைவேகத்துடனும் இரண்டாவது பாதித் தொலைவில் v_2 என்ற திசைவேகத்துடனும் செல்லும் கார்.

[1] ஓரளவு நுண்கணிதம் (Calculas) அறிந்தவர்கள் கணப்போது திசை வேகத்திற்கான நமது கோவையை t-ஐப் பொறுத்த s-ன் பகுதி (derivative) $\left(v = \frac{ds}{dt}\right)$ என்பதை அறிவார்கள்

சராசரித் திசைவேகம் (Average velocity): 60 மைல் பிரயாணம் மேற்கொள்ளும் ஒரு கார் முதல் 30 மைலில் மணிக்கு 20 மைல் வேகத்திலும் அடுத்த 30 மைலில் மணிக்கு 60 மைல் வேகத்திலும் செல்வதாகக் கொள்வோம். வண்டியின் சராசரித் $(20 + 60)/2$ திசை வேகம் அதாவது மணிக்கு 40 மைல் எனக் கூறத் தோன்றும். எனினும் இது தவறாகும். ஏனெனில் சராசரித் திசைவேகம் நேரத்தைப் பொறுத்தே வரையறுக்கப் படுகிறது; தொலைவைப் பொறுத்து அன்று. முதல் பாதித் தொலைவை (v_1 என்ற திசை வேகத்தில்)க் கடப்பதற்கு எடுத்துக் கொண்ட நேரம் t_1, இரண்டாவது பாதித் தொலைவுக்கு எடுத்துக் கொண்ட நேரம் t_2 எனின் நேரத்தைப் பொறுத்த சராசரித் திசைவேகம்

$$\bar{v} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2} \tag{2-3}$$

ஆகும். இது எடையிட்ட சராசரிக்கான (weighted average) ஒரு எடுத்துக்காட்டாகும். சமன் 2-3-ல் t_1, t_2 என்பவை எடையிடும் காரணி (weighting factors) களாகும். சமன் 2-1லிருந்து கிடைக்கப் பெற்ற $t = s/v$ என்னும் தொடர்பினுல் t_1, t_2 ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைக் கண்டு காரின் சராசரித் திசைவேகத்தை நாமறியலாம். t_1 = 30 மைல்/20மைல்/மணி = 1.5 மணி; t_2 = 3 மைல்/60மைல்/மணி = 0.5 மணி இம்மதிப்புகளைச் சமன் 2-3-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\bar{v} = \frac{20 \times 1.5 + 60 \times 0.5}{1.5 + 0.5} \text{ மைல்/மணி} = 30 \text{ மைல்/மணி}.$$

எனவே, மேற்கூறிய பயணத்தின் சராசரி திசைவேகம் 4 மைல்/மணி அல்லாமல் 30மைல்/மணி என்பதை நாமறிகிறோம்.

சராசரி திசைவேகத்திற்கு ஒரு எளிய வாய்பாட்டைப் பெறுவதற்கேற்ப சமன் 2-3-ஐ மாற்றியமைக்கலாம். $v_1 t_1$ என்பது v_1 என்ற திசைவேகத்துடன் கடந்த தொலைவு, s_1 என்பதை நாமறிவோம். அவ்வாறே $v_2 t_2 = s_2$. எனவே சமன் 2-3-ஐ

$$\bar{v} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2}$$

$$\text{சராசரித் திசைவேகம் அல்லது } \bar{v} = \frac{s}{t} \tag{2-4}$$

என எழுதலாம். சமன்பாட்டில் s என்பது மொத்தத் தொலைவு, t என்பது அந்த மொத்தத் தொலைவைக் கடப்பதற்கு எடுத்துக் கொண்ட நேரம் ஆகும். இந்த வாய்பாடு எல்லா எடையிடும் காரணிகளையும் அதனுள்ளேயே கொண்டிருப்பதால், அது, திசை

வேகமானது நேரத்தைப் பொறுத்து எவ்வகையில் மாறிய போதிலும் எல்லா சமயத்திலும் நேரத்தைப் பொறுத்த சராசரி திசை வேகத்தைக் கொடுக்கிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 1

மணிக்கு 60 மைல் வீதம் சென்றுகொண்டிருக்கும் ஒரு கார் தடையிடப்பட்ட 2 விநாடிகளுக்குப் பிறகு நிற்பதாகக் கருதுவோம். இந்த 2 விநாடிகள் நேரத்தில் திசைவேகமானது மணிக்கு 60 மைலிலிருந்து மணிக்கு 0 மைலுக்குச் சீராகக் குறைவதாகக் கொள்வோம். எனவே, தடையிடப்பட்டிருக்கும் கால அளவில் சராசரித் திசைவேகம் மணிக்கு 30 மைல் ஆகும். கார் தடையிடப் பட்ட பின்னர் ஓய்வு பெறுமுன் மேலும் எவ்வளவு தொலைவு செல்லும்?

சமன் 2-4-ஐப் பயன்படுத்துவோமாயின்,

$s = \bar{v}t.$

சராசரித் திசைவேகம் $\bar{v} = 30$ மைல்/மணி அல்லது 44/வி. ஆகும். எனவே,

$s = 44$/அடி/வி $\times$ 2 வி

அல்லது $s = 88$ அடி.

மாதிரிக் கணக்கு 2

மிதி வண்டியில் செல்லும் ஒருவர் மலைகள் நிறைந்த ஒரு பகுதியில் செல்லுகிறார். அவரது வேகம் (திசைவேகத்தின் எண்மதிப்பு) ஏறுபாதையில் செல்லும்போது மணிக்கு 5 மைல், இறங்கு பாதையில் மணிக்கு 20 மைல் ஆகும். ஏறு, இறங்கு பாதைகளின் நீளங்கள் சமமாயின் அவரது சராசரி வேகம் என்ன?

ஏறு பாதையின் நீளம் D எனக் கொள்வோமாயின் அவர் கடந்த மொத்தத் தொலைவு $s = 2D$. சமன்பாடு 2-5-ன்படி. சராசரி வேகம்

$$v = \frac{2D}{t} \qquad (2\text{-}5)$$

இந்தக் கணக்கைச் சரிசெய்ய வேண்டுமாயின் அவர் எடுத்துக் கொண்ட கால அளவான t-ன் மதிப்பை நாம் காணவேண்டும். t_1 என்பது ஏறு பாதையில் கடந்தநேரம் எனவும் t_2 என்பது இறங்கு பாதையில் கடந்த நேரம் எனவும் கொண்டால் $t = t_1 \times t_2$ சமன்பாடு 2-1-ன்படி

$$t = t_1 + t_2$$

சமன்பாடு 2-1-ன் படி

$$t_1 = \frac{D}{v_1}, \; t_2 = \frac{D}{v_2}$$

எனவே $t = \frac{D}{v_1} + \frac{D}{v_2}$

இப்போது t-ன் இம்மதிப்பைச் சமன்பாடு 2-5-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்,

$$\bar{v} = \frac{2D}{D\left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)}$$

அல்லது $\bar{v} = \frac{2\, v_1\, v_2}{v_1 + v_2}$

இறுதியாக $v_1 = 5$ மை/மணி, $v_2 = 20$ மை/மணி என்னும் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்,

$$\bar{v} = \frac{2 \times 5 \times 20}{5 + 20} \; 8 \text{ மை/மணி} = 8 \text{ மைல்/மணி.}$$

மேற்கண்ட கணக்கைச் செய்வதில் இறுதிவரை இயற்கணிதக் குறியீடுகளே (Algebraic Symbols) பயன்படுத்தப்பட்டன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. பொதுவாக இறுதிவரை எண்ணியல் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்யாமலிருப்பது ஒரு நல்ல பழக்கமாகும். அவ்வாறு செய்வதால் அதிக அளவு கணக்கீடுகளைத் தவிர்ப்பதுடன் தவறு செய்வதற்கான வாய்ப்பையும் குறைக்கிறோம்.

2-2 முடுக்கம்

எரிபொருளூட்டம்

ஒரு பொருளின் திசைவேகம் நேரத்தைப் பொறுத்து அதிகரித்தால் வரையறைப்படி அது சீரான முடுக்கத்துடன் இயங்குகிறது எனலாம்.

$$v - v_0 = at$$

சீரான முடுக்கம் அல்லது $a = \frac{v - v_0}{t}$ (2-6)

a என்பது முடுக்கம் என வரையறுக்கப்படுகிறது. அதன் அலகு நீளத்தின் அலகுகள் ÷ காலத்தின் இருமடி ஆகும். வழக்கமாக மீ.வி^{2}, செ.மீ/வி^{2} அல்லது அடி/வி^{2} என்ற அலகுகளில் முடுக்கம் குறிப்பிடப்படுகிறது. முடுக்கம் சீரானதாக இல்லாவிடில்

கணப்போது முடுக்கம் $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

என்பது கணப்போது முடுக்கமாகும் (instantaneous acceleration). எனினும் இந்த இயலில் சீரான முடுக்கத்தைப்பற்றி மட்டும் படிப்ப தோடு நிறுத்திக் கொள்வோம்.

மாதிரிக் கணக்கு

ஒரு பொருள் ஓய்விலிருந்து 9.80மீ/வி^{2} என்ற சீரான முடுக்கத் துடன் கிளம்புகிறது. அது எவ்வளவு நேரத்தில் ஒளியின் வேகமான 3.00×10^8மீ/வி என்ற வேகத்தை அடையும்?

சமன்பாடு 2-6-ஐப் பயன்படுத்துவோமாயின்

$$t = \frac{v}{a}$$

$$t = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ மீ/வி}}{9.80 \text{ மீ/வி}^2} = 3.06 \times 10^7 \text{ வி}$$

இது ஏறத்தாழ ஒரு ஆண்டு ஆகும்.

மேலேயுள்ள எடுத்துக்காட்டு சமன்பாடு 2-6–ல் இருக்கக்கூடிய குறையைப்பற்றிய வினவை எழுப்புகிறது. எந்தப் பொருளும் ஒளி யின் வேகத்தைவிட அதிக வேகத்துடன் செல்லமுடியாது என்று நம்மில் பலர் முன்னரே கேள்விப்பட்டிருக்கிறோம். எனினும் சமன் பாடு 2-6 v-ன் மதிப்புக்கு எந்த வரம்பையும் விளக்கவில்லை. இந்த இயலில் முதல் ஐந்து பிரிவுகளில் காணப்படும் சமன்பாடுகள் முதன் முதலில் கலிலியோவால் 17–ம் நூற்றாண்டின் முற்பகுதியில் பெறப்பட்டவையாகும்; அவை முதுவிசையியலின் (classical mechanics) ஒரு பகுதியாகும். எனினும் 1905-ம் ஆண்டில் ஒளியின் வேகத்தினின்றும் சற்றே மாறுபட்ட, மிக அதிக திசைவேகத்தில் மட்டும் குறிப்பிடத்தக்க அளவை எய்தும் மாறுதல்களை ஐன்ஸ்டீன் எடுத்துரைத்தார். அவருடைய புதியகோட்பாடு பல சோதனைகள் மூலம் ஐயமற சரிபார்க்கப்பட்டு சார்பியல் விசையில் (relativistic mehanics) என அழைக்கப்படுகிறது. சார்பியல் கொள்கையின் அடிப்படையில் சமன்பாடு 2-6-ன் சரியான அமைப்பு

$$v = \frac{at}{\sqrt{1 + \left(\frac{at}{c}\right)^2}}$$

ஆகும்; c என்பது ஒளியின் வேகம், a என்பது காட்சியாளர் ஒருவரால் அளவிடப்பட்ட பொருளின் சீரான முடுக்கமாகும். (at)-ன் மதிப்பு c-ஐவிட மிக அதிகமாக இருக்கும்போது அடியெண் கூறின் (denominator) மதிப்பு $\left(\frac{at}{c}\right)^2$-ன் மதிப்பை நெருங்குவதால்

$v = at/(at/c) = c$ என்பது தெளிவாகிறது. மாருக, at-ன் மதிப்பு c-ஐ விட மிகக் குறைவாக இருப்பின் அடியெண்கூறின் இருமடி மூலம் ஏறத்தாழ ஒன்று ஆகும். எனவே, மிகவும் திருத்தமாக $v = at$ ஆகும்.

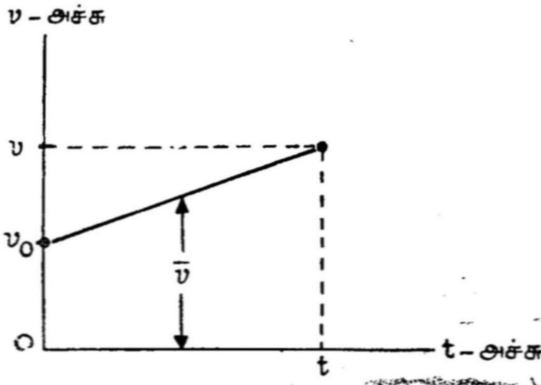
சார்புக் கொள்கையின் பயனுய் விளேயும் மாறுதல்கள் சாதாரணத் திசைவேகங்களில் மிகமிகச் சிறிய அளவினதாதலால் முதுவிசையியலேப் பற்றிய ஆய்வைச் சமன்பாடு 2.6-ஐக் கொண்டே தொடரலாம். சார்புக் கொள்கையின் பயனுய் விளேயும் மாறுதல்களே இயல் 11-ல் காணலாம்.

சமன்பாடு 2.6-ன் மேலும் பொதுநிலேயான அமைப்பு ஓய்விலிருந்தல்லாது v_0 என்ற தொடக்கத் திசைவேகத்துடன் புறப்படும் பொருளேயும் உள்ளடக்குகிறது. எனவே,

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$\text{அல்லது } v = v_0 + at \qquad (2\text{-}7)$$

$v = v_0 + at$ என்ற சார்பெண் (function) படம் 2-3-ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. t என்ற கால அளவில் சராசரித் திசைவேகம் என்பது v_0, v ஆகியவற்றிற்கிடையேயுள்ள வரைகோட்டின் உயரங்களின் சராசரி, அதாவது, $\frac{1}{2}(v_0 + v)$ ஆகும். இவ்வாருக,



படம் 2-3

v_0 என்ற தொடக்க திசை வேகத்துடன் தொடங்கி மாருத முடுக்கத்துடன் செல்லும் பொருளின் திசை வேகத்திற்கும் (v) நேரத்திற்கும் (t) இடையே வரையப்பட்ட வரைப்படம்.

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2} \qquad (2\text{-}8)$$

ஆனல் சராசரித் திசைவேகம் s/t ஆதலால் (சமன் 2-4)

$$\frac{s}{t} = \frac{v_0 + v}{2}$$

அல்லது $s = \frac{v_0 t + vt}{2}$

இப்போது சமன் 2.7-ன் வலது புறத்தை v-க்குப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$s = \frac{v_0 t + (v_0 + at)\,t}{2}$$

$$s = v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2$$

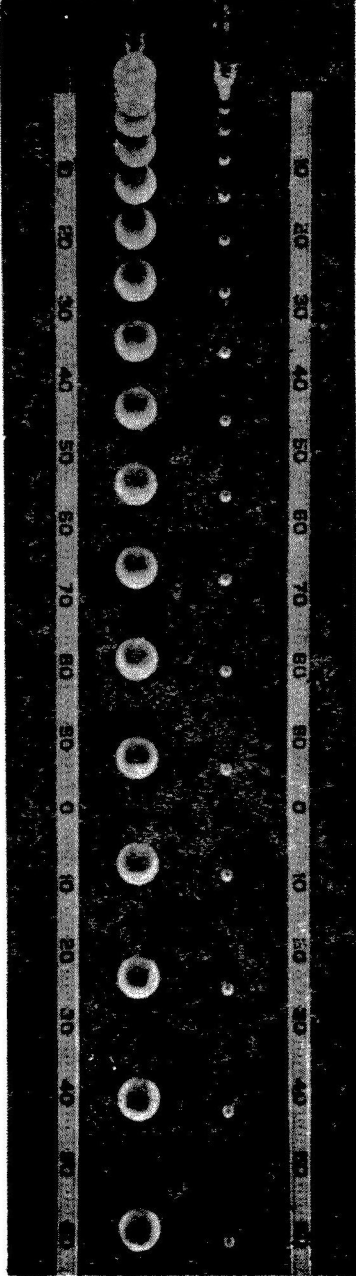
இது, சீரான முடுக்கத்துடன் செல்லும் ஒரு பொருள் t நேரத்தில் கடக்கும் தொலைவாகும் பொருள் ஓய்விலிருந்து புறப்பட்டால்

$$s = \tfrac{1}{2}\,at^2.$$

சமன்பாடு 2.9-ஐ முதலில் பெற்றவர் கலிலியோவாகும். காற்றினுல் ஏற்படும் உராய்வைப் புறக்கணித்தால் எல்லாப் பொருள்களும் புவியின் மையத்தை நோக்கி அதே முடுக்கத்துடன் விழுகின்றன என்பதை அவர் கண்டார்(படம் 2.4-ஐக் காண்க). இவ்வுண்மை அவர் காலத்தில் பொதுவாக ஏற்கப்பட்ட கோட்பாட்டிற்குப் புறம்பானதாகும். 'g' என்ற குறியீட்டால் குறிக்கப்படும் இம் முடுக்கத்தின் மதிப்பு 9.8 மீ/வி² அல்லது 32′/வி² ஆகும். பொருள் கடக்கக் கூடிய தொலைவு நேரத்தின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கவேண்டும் என்பதைச் சரிபார்க்கக் கவனமான, நுட்பமான சோதனைகளை அவர் மேற்கொண்டார். ஒரு பெரிய கலத்தின் அடியில் பொருத்தப்பட்ட சிறு குழாய் ஒன்றின் வழியாக ஒழுகும் நீரைச் சேமிப்பதன் மூலம் அவர் நேரத்தை அளந்தார். இக் கருவி மணல் நாழிகை வட்டிலை (hour glass) ஒத்ததாகும்; ஆனல் மணலுக்குப் பதிலாக நீர் பயன்படுத்தப்பட்டது. சாய் தளத்தில் கீழ் நோக்கி உருளும் ஒரு பொருள் நான்கு மடங்கு தூரம் உருளும்போது இருமடங்கு நீர் சேர்ந்திருப்பதை அவர் கண்டார்.

மாதிரிக் கணக்கு 1

பயணி ஒருவர் "பெருங்கெவி" (Grand canyon) யின் விளிம்பிலிருந்து ஒரு கல்லைப் போடுகிருர். காற்றின் உராய்வைப் புறக்கணித்தால் அக்கல் கெவியின் அடியைத் தொடுவதற்கு எவ்வளவு நேரம் ஆகும்? கெவியின் ஆழம் 5000 அடி.



படம் 2-4

மாறுபட்ட நிறையை உடைய, தானே விழும் இருபொருட்களின் ஸ்ட்ரொபோஸ்கோப் நிழற்படங்கள். நிழற்படக் கருவியின் லென்ஸைத் திறந்து வைத்து $\frac{1}{30}$ விநாடிக்கு ஒரு முறை ஒளியூட்டி இத்தகைய படம் எடுக்கப்பட்டது. எடைமிக்க பொருள் நிலத்தைத் தொடும் அதே நேரத்தில் எடை குறைந்த (சிறிய) பொருளும் நிலத்தைத் தொடுவதைக் காணலாம். இரு பொருட்களும் ஒரே சமயத்தில் விடுவிக்கப் பட்டன. (நன்றி: கல்விப் பணித்துறையின் இயற்பியல் (Physical Science) ஆய்வுக்குழு).

இக் கணக்கில் s, a ஆகியவற்றை நாமறிவோம். t-ஐக் காண வேண்டும். ஒரு நேர் கோட்டில் சீரான முடுக்கத்துடன் விழும் இப்பொருளுக்கான s, a, t ஆகியவற்றிற் கிடையே உள்ள தொடர்பைச் சமன் 2.9 தருகிறது. $v_0 = o$, $a = g$ என்று பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$s = \frac{1}{2} gt^2$$

t-ன் மதிப்பைக் காணின்

$$t^2 = \frac{2s}{g}$$

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \qquad (2\text{-}10)$$

தெரிந்த அளவுகளின் மூலம் t-ன் இயற்கணிதவியல் (algebraic) மதிப்பைக் கண்டபிறகு $s = 5000$ அடி, $g = 32'/\text{வி}^2$ எனப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$t = \sqrt{\frac{10,000}{32}}\ \text{வி} = 17.6\ \text{விநாடி.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 2

ஒரு சிறுவன் ஒரு பந்தைச் செங்குத்தாக 64 அடி உயரத்திற்குத் தூக்கி எறிந்து அது கீழே வரும்போது பிடிக்கிறான். பந்து காற்றில் இருந்த கால அளவு எவ்வளவு?

பந்து மேலே செல்வதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரமும் கீழே வருவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரமும் சமம் என்று கொள்வதன் மூலம் இக் கணக்கை எளிதாக்கலாம். இது ஏனெனில் இரு பயணங்களின்போதும் திசைவேக மாறுபாடு அல்லது முடுக்கம் ஒரே அளவாகும். மேலும், பெரும உயரத்தில் இரு பயணங்களிலும் திசைவேகம் சுழியாகும். எனவே, 64 அடி உயரத்திலிருந்து விழும் பந்தின் திரைப் படத்தைத் தலைகீழாக ஓட்டினால் 64 அடி உயரத்திற்குத் தூக்கி எறியப்படும் பந்தின் இயக்கத்தைப் போல் தோன்றும். பந்து 64 அடி கீழே விழுவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தைச் சமன்பாடு 2-10-லிருந்து பெறலாம்.

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$$

$$t = \sqrt{\frac{128}{32}}\ \text{விநாடி} = 2.0\ \text{விநாடி.}$$

காற்றில் செலவிடப்பட்ட மொத்த நேரம் இதன் இருமடங்கு அல்லது 4.00 விஞடிகள் ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 3

ஒரு குறிப்பிட்டவகை ஏவுகணை 200 கி.மீ கடந்த பிறகு தப்பியோடு வேகத்தை (escape velocity) ($v = 11$கி.மீ/வி) அடைகிறது. இத் திசைவேகம் பொருளானது புவியின் ஈர்ப்பு விசையிலிருந்து விடுபடுவதற்குத் தேவையான திசைவேகமாகும். ஏவுகணையின் முடுக்கம் சீரானதெனக் கருதி அம் முடுக்கத்தின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

இக் கணக்கினைச் செய்ய s, v, a ஆகியவை அடங்கிய ஒரு தொடர்பு நமக்குத் தேவைப்படுகிறது. இதுவரை நாம் அத்தகைய தொடர்பைப் பெறவில்லை. அதனைப்பெற a-ன் வரையறை (சமன் 2-6) யிலிருந்து தொடங்கலாம்.

$$a = \frac{v}{t}$$

ஆனல் இப்போது சமன்பாட்டின் வலதுபுறத்தில் மதிப்புத் தெரியாத மற்றொரு அளவு, t, உள்ளது. எனினும் t, மற்றும் தெரிந்த அளவுகளான s, v ஆகியவை அடங்கிய தொடர்பைக் காண்பதன் மூலம் t-ன் மதிப்பை அறியலாம். t விஞடிகால அளவில் ஏவுகணையின் சராசரித் திசைவேகம் $v/2$ (பார்க்க சமன் 2-8)எனக் கருத்திற் கொள்வோமாயின் சமன் 2-4 இங்கு பொருத்தமானதாக அமையும். இவ்வாருக $\bar{v} = v/2$; அது s/t க்குச் சமமாகும்.

$$\tfrac{1}{2} v = \frac{s}{t}$$

அல்லது $t = \dfrac{2s}{v} = \dfrac{400}{11}$ விஞடி $= 36.4$ விஞடி

a-க்கான சமன்பாட்டில் மேற்கண்ட மதிப்பைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$a = \frac{v}{t} = \frac{11 \times 10^3}{36.4} \text{ மீ/வி}^2 = 302 \text{ மீ/வி}^2$$

இது, கீழ்நோக்கி விழும் ஒரு பொருளின் முடுக்கத்தின் 31 மடங்காகும். இதனை $31g$ முடுக்கம் எனக் குறிப்பிடுவது மரபு.

a-ன் மதிப்பைக் காணுமுன் t என்ற மற்றொரு அளவின் மதிப்பை அறிய வேண்டியிருத்தலால் மேற்கூறிய கணக்கு முன் கணக்கு

களைவிட கடினமானது. கணிதவியலாகக் கூறுவோமாயின் a, t ஆகிய மதிப்புத் தெரியாத இரு அளவுகள் அடங்கிய இரு ஒருங்கமைச் சமன்பாடுகள் தேவைப்பட்டன. பௌதிகத்தில் பல கணக்குகள், துணை அளவுகளைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டிய அல்லது தவிர்க்கப் படவேண்டிய தன்மையுடைத்தாயுள்ளன. சிறந்த சமன்பாடுகளையும் அளவுகளையும் தேர்ந்தெடுக்கும் வழி முறையானது பல தடவைகளில் சோதனை முறைகளாக (trial and error) அமைகின்றன. இதைப் பொறுத்தவரை பௌதிகக் கணக்குகளைச் செய்வதென்பது குறுக்கெழுத்துப் போட்டிகளைச் செய்வதற்கொப்பதாகும்.

கணக்குகளைச் செய்வதில் காலச்சேதத்தைத் தவிர்ப்பதற்காக நாம் இப்போது s, a, v ஆகியவற்றைத் தொடர்புப் படுத்தி ஒரு சமன் பாட்டைப் பெறுவோம். v_0 என்ற திசைவேகத்துடன் தொடங்கி சீரான முடுக்கத்துடன் இயங்கும் ஒரு பொருளின் சராசரித் திசைவேகம்

$$\frac{v_0 + v}{2} = \frac{s}{t}$$

மேலும்

$$v - v_0 = at$$

இரு சமன்பாடுகளையும் பெருக்கினால்

$$\left(\frac{v + v_0}{2}\right) \times (v - v_0) = \frac{s}{t} \times at$$

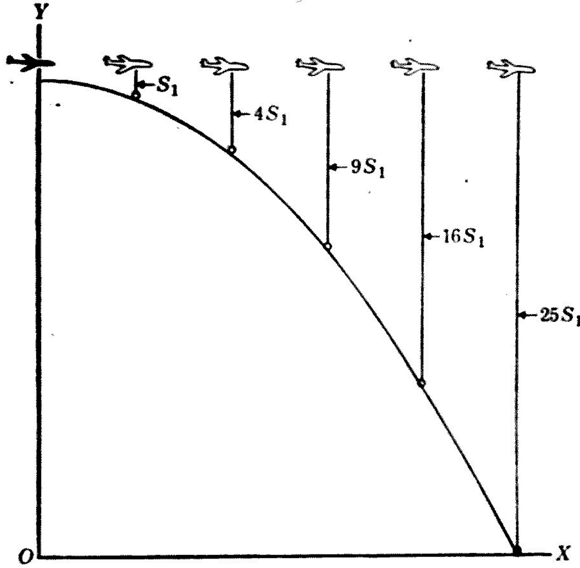
$$v^2 - {v_0}^2 = 2as \qquad (2\text{-}11)$$

2-3 கூட்டு இயக்கம்

கிடை இயக்கத்தினைச் செங்குத்து இயக்கம் அறியாது:

விமானப் பயணி ஒருவர் ஒரு பொருளைப் போட்டால் அது விமானத்தின் தரையை அடையும்வரை செங்குத்தாக g என்ற முடுக்கத்துடன் விழுவதைக் காண்கிறார். இப்போது விமானத்தின் தரையில் ஒரு துளை இருப்பதாகக் கொள்வோம். விமானப்பயணி, பொருளானது விமானத்திற்கு நேர்கீழே செங்குத்தான பாதையில் தொடர்ந்து விழுவதைக் காண்பார் (படம் 2-5). (உண்மையில் காற்று உராய்வின் பயனாகப் பொருள் விமானத்தை விடச் சற்றே பின்தங்கும்.) நிலமட்டத்தில் இருக்கும் ஒரு காட்சியாளர் காண்பது என்ன? விமானத்தின் உயரம் y_0, விழும் பொருளின் உயரம் y என்றால் நிலமட்ட காட்சியாளர் $(y_0 - y)$ என்ற தொலை

வின் மதிப்பு நேரத்தின் இருமடிக்கேற்ப அதிகமாவதைக் காண்பார்; சமன்பாடு 2.9-ல் s என்பது (y_0-y) ஆகும். எனவே



படம் 2–5

விமானத்திலிருந்து போடப்பட்ட ஒரு பந்தின், அடுத்தடுத்த கால இடைவெளிகளின் நிலை. முதல் கால இடைவெளியில் அது s_1 என்ற உயரத்திற்கு விழுகிறது.

$$(y_0 - y) = \tfrac{1}{2}gt^2$$

அல்லது $y = y_0 - \tfrac{1}{2}gt^2$ (2-12)

இப்போது விமானத்தின் தொடக்க நிலையையும் நில மட்டத்தையும் சேர்க்கும் கோட்டிலிருந்து பொருளின் கிடைமட்டத் தொலைவு x என இருக்கட்டும். (படம் 2-5-ல் x என்பது $O\ Y$ என்னும் கோட்டிலிருந்து உள்ள தொலைவு.) காற்று உராய்வைப் புறக்கணிப்போமாயின் இந்த செங்குத்துக் கோட்டிலிருந்து விமானத்தின் தூரம், பொருளின் தூரம்

$$x = v_0 t \qquad (2-13)$$

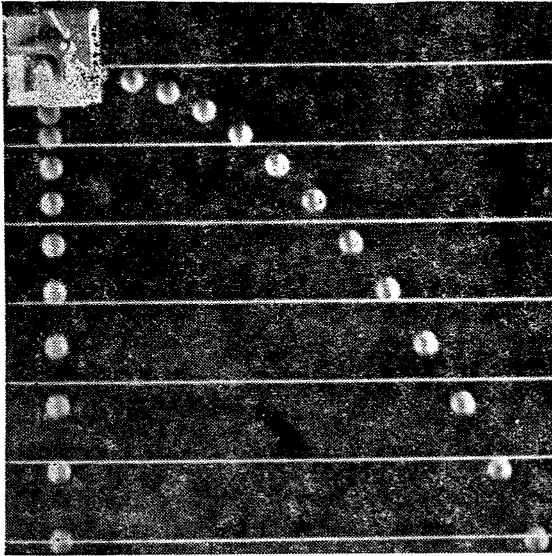
ஆகும். v_0 என்பது நிலமட்டத்திலிருந்து காணும்போது விமானத்தின் திசைவேகம் அல்லது பொருளின் தொடக்கத் திசைவேகம். மேற் கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து t-ன் மதிப்பைக்கண்டு சமன் 2-12-ல் பதிலீடு செய்வதன் மூலம் பொருளின், நிலமட்டத்திலிருந்து காணும் போது கிடைக்கப்பெறும் பாதைக்கான சமன்பாட்டைப் பெறலாம்.

$$t = \frac{x}{v_0}$$

$$y = y_0 - \tfrac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_0}\right)^2$$

$$y = y_0 - \frac{g}{2v_0^2}x^2$$

இந்தச் சமன்பாடு பரவளையத்தின் (parabola) சமன்பாடு என்பதை ஆயத்தொலை வடிவியல் (analytical geometry) அறிந்தவர்கள் உணர்வார்கள். தொடக்கத்தில் கிடைமட்டத் திசைவேகம் ஒன்று தரப்பட்டு கீழே விழும் ஒரு பொருளின் பாதையைப் படம் 2-6-ல் காணலாம். எறி பொருட்களின் (projectiles) பாதைகள் (காற்று உராய்வை விடுப்போமாயின்) பரவளையங்களாக இருக்கின்றன என்று முதன் முதலில் நிறுவியவர்



படம் 2-6

ஒரே சமயத்தில் விடுவிக்கப்பட்ட இரண்டு கோல்ஃப் பந்துகளின் ஸ்ட்ரோபோஸ்கோப் படங்கள். விடுவிக்கப்படும்போது வலதுபக்கப் பந்து ஒரு வில்லின் உதவியால் கிடைத்தளத்தில் தொடக்கத்திசைவேகம் ஒன்று கொடுக்கப்பட்டது.

கலிலியோவாகும். கிடைத்தள, செங்குத்து இயக்கங்களை ஒன்றுக்கொன்று சார்பற்றவைகளாகக் கருதலாம் என அவர் கண்டார். கிடைத்தளத்தில் முடுக்கத்தைத் தரும் விசை எதுவும் இல்லையாதலால் கிடைமட்டத் தொலைவு

$$x = (v_0)_x t$$

என்னும் சமன்பாட்டால் கிடைக்கப்பெறுகிறது; $(v_0)_x$ என்பது x திசையில் தொடக்கத் திசைவேகம். செங்குத்து இடப்பெயர்ச்சி எப்போதும் சமன் 2-12-ஆல் கிடைக்கப் பெறுகிறது; அல்லது தொடக்கத் திசைவேகம் $(v_0)_y$ ஒன்றிருந்தால் y-க்கான சமன்பாடு

$$y = y_0 + (v_0)_y t - \frac{1}{2}gt^2$$

என்றாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு

ஒரு வெடிகுண்டு விமானம் 30,000 அடி உயரத்தில் மணிக்கு 60 மைல் வேகத்தில் பறந்து கொண்டிருக்கிறது. (காற்று உராய்வை விடுப்போமாயின் இலக்கிலிருந்து எத்தனை அடி தூரத்தில் விமானி வெடிகுண்டை விமானத்திலிருந்து விடுவிக்க வேண்டும்?

இக் கணக்கைச் செய்வதற்கான ஒரு முறை வெடிகுண்டு இலக்கையடைய எவ்வளவு நேரம் எடுத்துக் கொள்கிறது என்பதைக் கண்டுபிடிப்பதாகும். சமன் 2.10-ன் உதவியால் **t-ன்** மதிப்பை அறியலாம் ; $s = 3 \times 10^4$ அடி.

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{6 \times 10^4}{32}} \text{ வினாடி} = 43.3 \text{ வி}$$

கடக்கப்பட்ட கிடைத்தளத் தூரம்

$$x = v_0 t = 880 \text{ அடி/வி} \times 43.3 \text{ வி}$$

$$x = 38,100 \text{ அடி} = 7.2 \text{ மைல்}$$

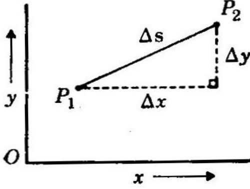
2–4 வெக்டர்கள்

அம்புக்குறி கணிதம்

ஒற்றைப் பரிமாணத்திலல்லாது இரு பரிமாணங்களில் (dimensions) உள்ள இயக்கத்தைப் பற்றி நாம் இப்பொழுது படித்துக் கொண்டிருப்பதால் திசைவேகம் என்பது ஒரு வெக்டர் என்று உணர்வது இன்றியமையாததாகும். ஒரு வெக்டருக்கு எண் மதிப்பும் திசையும் உண்டு. திசைவேகத்தின் எண்மதிப்பு, திசை ஆகிய இரண்டையும் அறிந்தாலொழிய அதைப்பற்றி முழுதும் நாம் அறிய முடியாது. திசைவேகத்தின் x, y ஆக்கக்கூறுகளை ஆராய்வது அடிக்கடி பயனுள்ளதாக இருக்கிறது. v_x, v_y ஆகிய x, y ஆக்கக் கூறுகள் மொத்த வேகம் v-உடன்

$$v_x^2 + v_y^2 = v^2$$

என்னும் சமன்பாட்டினுல் தொடர்பு கொண்டுள்ளன. இதனைப் படம் 2-7-ல் காணலாம். இங்கு, ஒரு பொருள் Δt என்னும் நேரத்தில் p_1-லிருந்து p_2-க்கு நகருகிறது. Δx, Δy என்ற தூரங்கள் Δs என்ற இடப் பெயர்ச்சியின் x, y ஆக்கக் கூறுகள். பிதகோரஸ் (Pythagorus) தேற்றத்தின்படி



Δs என்ற இடப்பெயர்ச்சியும் அதன் Δx, Δy என்ற x, y ஆக்கக் கூறுகள்.

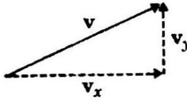
படம் 2-7

$$(\Delta x)^2 + \Delta y)^2 = (\Delta s)^2$$

சமன்பாட்டின் இருபக்கங்களையும் $(\Delta t)^2$-ஆல் வகுத்தால்

$$\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{\Delta t}\right)^2 = \left(\frac{\Delta s}{\Delta t}\right)^2$$

அல்லது $v_x{}^2 + v_y{}^2 = v^2$



ஒரு வெக்டரின் (v) x, y ஆக்கக் கூறுகள்.

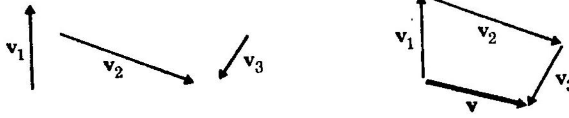
படம் 2–8

படம் 2-7-ம் தொகுபயன் திசை வேகத்தைக் காண்பதற்கான ஒரு எளிய வடிவியல் விதியைத் தருகிறது. v_y-ன் வால் முனையை v_x-ன் தலைமுனையுடன் ஒன்றும்படி வைப்போம். v_x-ன் வால்முனையை v_y-ன் தலைமுனையுடன் படம் 2-8-ல் காட்டியுள்ளபடி இணைப்பதன் மூலம் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சியும் தனிப்பட்ட இடப் பெயர்ச்சிகளின் கூட்டுத் தொகையாதலால் இவ்விதியைப் பல் வேறு திசைகளை நோக்கியிருக்கும் திசைவேகங்களைக் கூட்டுவதற்கு ஏற்ற முறையில் பொது விதியாக்கலாம். வெக்டர்களைக் கூட்டுவதற்கான பொதுவிதி ‘பல்கரவிதி’ (Polygon rule) என்றழைக்கப்படுகிறது. இதனைப் படம் 2-9-ல் காணலாம். இங்கு

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

என்ற வெக்டர் கூட்டுத் தொகையைக் காண விழைகிறோம். இவ் விதியின்படி அடுத்தடுத்த வெக்டர் ஒவ்வொன்றின் வால்முனையை யும் முந்திய வெக்டரின் தலைமுனையின்மீது வைக்கவேண்டும். இனி, முதல் வெக்டரின் வால்முனையையும் கடைசி வெக்டரின் தலை

முனையையும் படம் 2-9-ல் காட்டியுள்ளபடி இணைக்கும் கோடு அவ் வெக்டர்களின் தொகுபயன் வெக்டரைக் கொடுக்கும்.



படம் 2-9

வெக்டர் கூட்டலின் பல்கரவிதியைப் பயன்படுத்தி மூன்று வெக்டர்களின் கூட்டற் தொகையைக் காணல்

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

பௌதிகத்தில் பயன்படுத்தப்படும் பல ராசிகள் வெக்டர் களாதலால் அவற்றை இம் முறையில் சேர்க்கவேண்டும். இதுவரை நாம் அறிந்த ராசிகளுள் இடப்பெயர்ச்சி, திசைவேகம், முடுக்கம் ஆகியவை வெக்டர்களாகும்.

2-5 எறிபொருள் இயக்கம்

ராணுவத் துறைப் பயன்

முதலில் படம் 2-10-ல் காட்டியுள்ளபடி கிடைநிலைக்கு 45° கோணத்தில் சுடப்பட்ட ஒரு பீரங்கியைக் கருதுவோம். வெடி குண்டு பீரங்கியை விட்டுச் செல்லும்போது அது எறியப்பட்ட வேகம் $v_0 = 1$ கி.மீ/வி எனக் கொள்வோம்; மேலும் காற்று உராய் வையும் புறக்கணித்துவிடுவோம். குண்டு எவ்வளவு நேரம் பறக்கிறது, எவ்வளவு உயரம் போகிறது, எவ்வளவு தூரம் செல்கிறது (பீரங்கியின் நெடுக்கம்-range-என்ன) என்பவற்றைக் கணக்கிட நாம் விழைகிறோம். கிடைமட்டசெங்குத்து இயக்கங் களைத் தனியாகக் கருதி இக் கணக்கைச் செய்வோம். 45° கோணத்திற்கு $(v_0)_x = (v_0)_y = v_0/\sqrt{2} = 707$ மீ/வி. செங்குத்து இயக்கத்தை முதலில் கருதுவோம். சமன் 2-7-ன் படி

$$v_y = (v_0)_y - gt$$

அல்லது $gt + v_y = (v_0)_y$

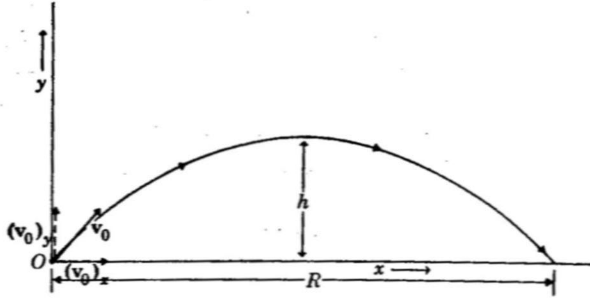
குண்டு பெரும உயரத்தையடையும் போது $v_y = 0$

எனவே, t_1 என்பது பெரும உயரத்தை அடைவதற்கு எனில்

$$gt_1 + 0 = (v_0)_y$$

$$t_1 = \frac{(v_0)_y}{g} = \frac{707}{9.8} \text{ வி}$$

$$t_1 = 72 \text{ வி}$$



படம் 2-10

45° கோணத்தில் சுடப்பட்ட எறிபொருளின் பாதை. தொடக்கதிசைவேகம் V_0

குண்டின் பயணநேரம் இதன் இருமடங்கு அல்லது 144 விஞடி ஆகும். பெரும உயரத்தை h எனவும் பெருமக் கிடைமட்டத் தூரத்தை R எனவும் அழைப்பதாகக் கொள்வோம். சராசரி செங்குத்துத் திசைவேகமானது h என்ற தூரத்தை 72 விஞடிகளால் வகுக்கக் கிடைப்பதால்

$\bar{v}_y = \frac{1}{2}(v_0)_y = \frac{h}{t}$ என்னும் சமன்பாட்டால் h-ஐப் பெறலாம்.

$$h = \frac{(v_0)_y t}{2} = \frac{707 \times 72}{} \text{ மீ}$$

$h = 25.4$ கி.மீ

நெடுக்கம், R-ஐ

$x = (v_0)_x t$ என்னும் சமன்பாட்டிலிருந்தும் எளிதில் பெறலாம்.

$R = (v_0)_x \times 144$ வி

$R = 707 \times 144$ மீ

$R = 102$ கி.மீ

45° கோணத்தில் சுடப்படும் பொழுது நெடுக்கம் R, பெரும உயரம் h-ஐப் போல் நான்கு மடங்கு என்பதை அறியலாம். பீரங்கி θ என்ற ஏதேனும் ஒரு கோணத்தில் சுடப்பட்டிருப்பின் $(v_0)_x$ என்பது $v_0 \cos \theta$ எனவும் $(v_0)_x$ என்பது $v_0 \sin \theta$ எனவும் ஆகும். சுடப்படும் கோணம் 45° ஆக இருக்கும்பொழுது நெடுக்கம் பெருமமாக உள்ளது என எளிய திரிகோணவியலைப் பயன்படுத்தி நிறுவலாம். பௌதிகத்தின் முற்காலத்திய, இத்தகைய ராணுவப் பயன்கள் முதன் முதலில் கலிலியோவிஞல் உருவாக்கப்பட்டன.

எறி பொருள் இயக்கத்தைப் பற்றிய நமது அறிவை மிகவும் நவீன பிரச்சினையான கண்டங்களிடைச் செல்லும் ஏவுகணை (ICBM) யைப் பற்றிய ஆராய்ச்சியில் இப்போது பயன்படுத்தலாம். 5000 மைல் அல்லது 8000 கி.மீ பெரும நெடுக்கத்தைக் கொண்ட ஒரு குறிப்பிட்ட ICBM-ஐக் கருதுவோம். உனது நகரத்தை நோக்கி 5000 மைல் தொலைவிலிருந்து ஒரு ICBM செலுத்தப்பட்டதாகவும் பாதி வழியிலேயே அது கண்டுபிடிக்கப்படுவதாகவும் கொள்க. நீ எச்சரிக்கையடைவதற்கான நேரம் எவ்வளவு இருக்கும்? ஏவுகணை கண்டுபிடிக்கப்பட்டபோது அது எவ்வளவு வேகத்தில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும்? இலக்கை எவ்வளவு வேகத்துடன் தாக்கும்? அதன் பெரும உயரம் என்ன? இக் கணக்கைச் செய்ய நாம் பல தோராயங்களை மேற்கொள்ள வேண்டும். இந்த 5000 மைல் தொலைவுக்கு நிலப் பரப்பு தட்டையாக இருக்கிறது எனக் கொள்வோம். எல்லா உயரங்களிலும் g-ன் மதிப்பு ஒரே அளவினதாய் இருக்கிறது எனவும் கொள்வோம். மேலும். காற்று உராய்வினைப் புறக்கணிப்போம்.

ICBM, அதன் பெரும நெடுக்கத்தை நோக்கிச் செலுத்தப்பட்டதால் அது மீவளி மண்டலத்துள் (stratosphere) 45° கோணத்தில் நுழைகிறது என்பதை நாமறிவோம். இவ்வாறாக, நாம் முதலில் பெறும் தகவல் $(v_0)_x = (v_0)_y$, $R = 8000$ கி.மீ, அதன் செங்குத்து முடுக்கம் $g = 9{\cdot}8$ மீ/வி^{2} ஆகியவையாகும். இத்தகைய அரைகுறையான தகவல்களைக் கொண்டு மேலே கண்ட வினாக்களுக்கான விடைகளை நாம் காண வேண்டும். செங்குத்து இயக்கத்திற்கான

$$v_y = (v_0)_y - gt$$

என்ற சமன்பாட்டுடன் தொடங்குவோம். t_1 என்பது பெரும உயரத்தை அடைவதற்கான நேரத்தைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். $t = t_1$, $v_y = 0$ என்னும் போது

$$0 = (v_0)_y - gt_1$$

அல்லது $t_1 = \dfrac{(v_0)_y}{g}$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் $(v_0)_y$-ஐ அதே மதிப்பைக் கொண்டுள்ள $(v_0)_x$-ஆல் பதிலீடு செய்தால்

$$t_1 = \frac{(v_0)_x}{g}$$

R-ஐப் பயணத்திற்கான மொத்த நேரத்தால் வகுப்பதால் கிடைத்தளத் திசைவேகம் என்பதை மனதிற் கொண்டு $(v_0)_x$-ஐக் காண

லாம். இப்போது மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் $(v_0)_x$-க்கு $R/2t_1$ என்ற அளவைப்பதிலீடு செய்தால்

$$t_1 = \frac{\left(\frac{R}{2t_1}\right)}{g}$$

$$t_1^2 = \frac{R}{2g}$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{8 \times 10^6}{2 \times 9 \cdot 8}} \text{ விஞடி}$$

$$t_1 = 939 \text{ விஞடி}$$

எச்சரிக்கையடைவதற்கான நேரத்திற்கான நமது விடை சுமார் $10\frac{1}{2}$ நிமிடங்களாகும். பெரும உயரத்தில் வேகம்

$$(v_0)_x = \frac{R}{2t_1} = \frac{8000}{2 \times 639} \text{ கி.மீ/வி} = 6 \cdot 26 \text{ கி.மீ./வி}$$

இறுதித் திசைவேகம் v_0-ன் மதிப்பையே பெற்றிருக்கும்; அது $(v_0)_x$-ஐப் போல் $\sqrt{2}$ மடங்காகும். இவ்வாறாக,
$v_0 = 1 \cdot 41 \times 6 \cdot 26$ கி.மீ/வி $= 8 \cdot 85$ கி.மீ/வி $= 5 \cdot 5$ மைல்/வி.
பெரும உயரம் h-ஐ t_1-ஆல் வகுக்கக் கிடைப்பது சராசரி செங்குத்துத் திசைவேகம்; அது $\frac{1}{2}(v_0)_y$ ஆகும்.

$$\frac{h}{t_1} = \frac{1}{2}(v_0)_y$$

$$h = \frac{(v_0)_y\ t_1}{2}$$

ஆனல் $(v_0)_y$, $(v_0)_x$-ன் மதிப்பான $6 \cdot 26$ கி.மீ./வி மதிப்பையே பெற்றிருக்கிறது. இவ்வாறாக,

$$h = \frac{6.26 \times 639}{2} \text{ கி.மீ} = 2000 \text{ கி.மீ}$$

இம் மதிப்பு, $45°$ கோணத்தில் சுடப்பட்ட பீரங்கியிலுள்ளது போலவே ICBM-ன் நெடுக்கத்தின் சரியாக நான்கில் ஒரு பகுதியாகும். தோராயங்களை மேற்கொண்ட போதிலும் மேற்கண்ட கணக்கீடு நவீன ICBM-களிலிருந்து கிடைக்கும் குறிப்புக்களுடன் மிகவும் ஒத்திருக்கும் விடைகளைத் தருகிறது. 5000மைல் ICBM-க்குப் பயணத்திற்கான மொத்த நேரம் சுமார் 20நிமிடங்களாகும்; பெரும உயரம் சுமார் 1200 மைல் ஆகும். மேலும், தேவைப்படும் திசை வேகம் $v_0 = 5.5$ மைல்/வி- ஆனது புவியின் ஒரு துணைக்

கோளின் (satellite) திசை வேகத்துடன் ஒப்பு நோக்குமளவிற்கு உள்ளது.

2-6 மைய நோக்கு முடுக்கம்

நேர்குத்து முடுக்கம்

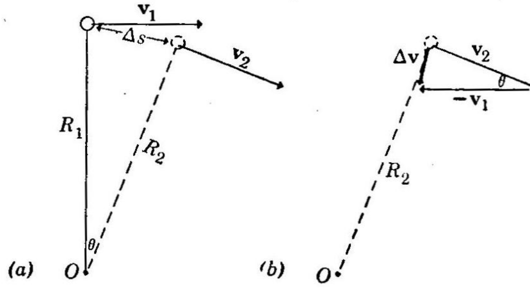
எறிபொருள் இயக்கத்தில் எறிபொருள், பொருள் பெரும உயரத்தை அடையும் பொழுது முடுக்கம், g, அதன் திசைவேகத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்கிறது. முற்பிரிவில் கண்டதுபோல் எறிபொருள் அப்போது ஒரு வளைவுப் பாதையில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கிறது. இப்பகுதியில் முடுக்கமானது எப்போதும் திசைவேகத்திற்கு நேர்க்குத்தாக இருக்கும் ஒரு சிறப்பு நிகழ்ச்சியைப் பற்றி ஆராய்வோம். முதலில், ஒரு வட்டத்தில் ஒரு பொருள் சீராக இயங்கிக் கொண்டிருக்குமாயின் அதன் முடுக்கம் எப்போதும் அதன் திசைவேகத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்கிறதென்றும், எனவே, வட்ட மையத்தை நோக்கியிருக்கிறதென்றும் நிறுவலாம். (திசைவேகம் வட்டத்திற்குத் தொடுவரைத் திசையிலிருப்பதால் ஆரம் திசைவேகத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்கிறது.)

படம் 2.11 *a* ஒரு வட்டத்தில் சீராக இயங்கும் ஒருபொருளின் அடுத்தடுத்த இருநிலைகளைக் காட்டுகிறது. இவ்விருநிலைகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரமான Δs-ஐக் கடப்பதற்குத் தேவையான நேரம் Δt என இருகட்டும். இந்தக் காலஅளவில் திசைவேகத்தின் திசை V_1-லிருந்து V_2-க்கு மாறிவிட்டது.

முடுக்கம் $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ - ஐக் கணக்கிட நாம் முதலில் Δt கால அளவில் திசை வேகத்தில் ஏற்பட்ட மாற்றம் ΔV-ஐக் கணக்கிட வேண்டும். வெக்டர் Δ, V_2-V_1 என்ற வெக்டர் வேறுபாடு ஆகும். படம் 2.11 *b*-ல் உள்ளது போல் வெக்டர்$(-V_1)$ஐ V_2-உடன் சேர்ப்பதால் இது கிடைக்கப் பெறுகிறது. வெக்டர் $(-V_1)$, V_1-ன் மதிப்பையே கொண்டுள்ளது; ஆனால் எதிர்த்திசையை நோக்கியுள்ளது.

$$\Delta V = (-V_1) + V_2$$
$$= V_2 - V_1$$

படம் 2.11 *b*-ல் ΔV, V_1, V_2 ஆகியவற்றைப் பக்கங்களாகக் கொண்ட முக்கோணமானது படம் 2.11*a*-ல் Δs, R_1, R_2 என்ற ஒத்த பக்கங்களையுடைய முக்கோணத்தை ஒத்திருக்கிறது என்று



படம் 2-11

(a)-ல் ஒரு வட்டத்தில் சீராக இயங்கும் ஒரு துகளின் அடுத்தடுத்த இரு நிலைகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. (b)-ல் வெக்டர் $\Delta v = v_1 - v_2$ கிடைக்கப் பெறுகிறது.

அறிவதன் மூலம் கணக்கீடு முற்றுப் பெறுகிறது. இரு முக்கோணங்கள் இரண்டும் இருசமபக்க முக்கோணங்களாகவும் V_1, V_2 பக்கங்கள் முறையே R_1, R_2 பக்கங்களுக்கு ஒன்றுக்கொன்று நேர் குத்தாகவும் இருப்பதால் அவை வடிவொத்த முக்கோணங்களாகும். எனவே' θ என்று குறிக்கப்பட்ட கோணங்கள் சமமாகும். வடிவொத்த முக்கோணங்களில் ஒத்த பக்கங்கள் நேர்விகிதத்திலிருப்பதால்

$$\frac{v}{\Delta s} = \frac{v}{R}$$

$$\Delta v = \frac{v}{R}\Delta s$$

இரு சமபக்கங்களையும் Δt-ஆல் வகுத்தால்

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} + \frac{V}{R} \times \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

ஆனால் $\Delta s/\Delta t$ மதிப்பு v ஆகும். எனவே,

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{R}$$

$\frac{\Delta v}{\Delta t}$ என்பது முடுக்கத்தின் எண்மதிப்பு ஆகும்; மையநோக்கு முடுக்கம், a_c, என்றழைக்கப்படும். ஒரு பொருள் வளைவுப் பாதையில் இயங்கும்போது மையநோக்கு முடுக்கம் ஏற்படுகிறது. மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து மையநோக்கு முடுக்கத்திற்கானவாய்பாடு

மையநோக்கு முடுக்கம் $$a_c = \frac{v^2}{R} \qquad (2\text{-}14)$$

என்று காண்கிறோம். மையநோக்கு முடுக்கம் திசைவேக வெக்டரின் திசையை மட்டுமே மாற்றுகிறது; ஆனால் திசைவேகத்தின் எண்மதிப்பு மாறாமலிருக்கிறது என்பதை நாம் நோக்கலாம். மேலும், a_c-ன் திசையானது வட்ட மையத்தை நோக்குகிறது என்பதையும் நோக்கலாம். (இது Δs-ன் மதிப்பு சுழியை நெருங்கும்போது மட்டுமே மிகவும் உண்மையாகிறது.)

மாதிரிக் கணக்கு

நில நடுக்கோட்டின் மீது இருக்கும் ஒரு பொருளுக்கு புவியின் சுழற்சியால் ஏற்படும் மையநோக்கு முடுக்கம் என்ன? நிலநடுக்கோட்டின் மீது இருக்கும் ஒரு பொருள் ஒரு நாளில் (8.64×10^4வி) புவியின் பரிதியை ($40,000$கி.மீ)க் கடக்கிறது. எனவே, அதன் திசை வேகம்

$$v = \frac{4 \times 10^7 \text{மீ}}{8\cdot 6 \times 10^4 \text{வி}} = 463 \text{மீ}/\text{வி}$$

சமன் 2.14-ன்படி அப்பொருள் புவியின் மையத்தை நோக்கி v^2/R ($R = 6360$கி.மீ) என்ற முடுக்கத்தைப் பெற்றிருக்க வேண்டும்.

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \frac{(463)^2}{6.36 \times 10^6} \text{மீ}/\text{வி}^2$$

$$= 0.034 \text{ மீ}/\text{வி}^2$$

இது $g = 9.8$மீ/வி^{2}-ன் 0.34% ஆகும். இவ்வுண்மையினால் அடுத்த இயலில் கூறப்பட்டுள்ளதுபோல் நில நடுக்கோட்டில் ஒரு மனிதனின் எடை துருவங்களுக்கு அருகில் உள்ளதைவிட 0.34% குறைவாக இருக்கும். வடதுருவத்தில் உள்ளதைவிட நிலநடுக்கோட்டில் நிமிடத்திற்கு 4 மைல் வீதம் மேல்நோக்கிச் செல்வது எளிதாகும்.

2-7 புவித் துணைக் கோள்கள்

அவற்றை வானத்தில் இயக்குவது எது

புவிப்பரப்பின் அருகிலுள்ள மற்ற எல்லா பொருட்களும் $g = 9.8$மீ/வி^{2} என்ற முடுக்கத்துடன் புவியை நோக்கி விழுவதைப் போன்று புவியின் துணைக்கோள் ஒன்று ஏன் விழுவதில்லை? உண்மையில் நிகழ்வது இதுதான். தாழ்வாகச் சென்று கொண்டிருக்கும் ஒரு துணைக்கோள் புவியை நோக்கி புவியீர்ப்பு முடுக்கமான g-உடன் தொடர்ந்து விழுந்து கொண்டேயிருக்கிறது. புவியை நோக்கி அது விழவில்லையாயின் அதாவது புவிஈர்ப்பு விசையின் ஆட்சியில் அது இல்லையாயின் அது புவிக்குத் தொடுவரை நிலையிலுள்ள ஒரு நேர்கோட்டின் வழியாக முடுக்கமின்றி தொடர்ந்து

செல்லும். அப்போது துணைக்கோளுக்கு கீழ் புவியில் உள்ள ஒரு வருக்கு அது மேல் நோக்கிச் சென்று கொண்டிருப்பதாகத் தோன்றும். சமன் 2.14-ன்படி புவியைச் சுற்றி ஒரு வட்டத்தில் இயங்கும் எந்த ஒரு பொருளும் புவி மையத்தை நோக்கிய $a_c = v^2/R$ என்ற முடுக்கத்தைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். புவிப் பரப்புக்கு அருகில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் ஒரு துணைக்கோளை $a_c = 9.8$ மீ/வி^{2} என்ற மாறுத முடுக்கத்துடன் தானே விழும் ஒரு பொருளாகக் கருதலாம். இப்பொழுது ஸ்புட்னிக் I-ன் (படம் 2.12) திசைவேகத்தையும் சுழற்சி நேரத்தையும் கணக்கிடலாம். ஒரு துணைகோளை அதன் பாதையில் இயங்கச் செய்யும்



படம் 2-12

மாஸ்கோவில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஸ்புட்னிக் I-ன் முழு அளவு மாதிரி. (நன்றி: சோவ்ஃபோட்டோ)

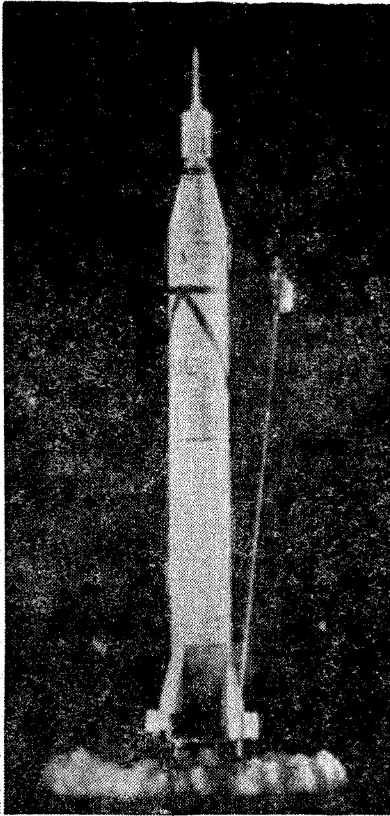
இத் திசை வேகத்திற்கு வட்டத் திசை வேகம் (circular velocity) v_c என்னும் சிறப்பு பெயரிடப்பட்டிருக்கிறது. மைய நோக்கு முடுக்கத்தின் மதிப்பு g ஆதலால்

$$\frac{v_c^2}{R} = g$$

R என்பது 6500 கி.மீ. புவிமையம் வரையுள்ள தூரம். எனவே,

$$v_c = \sqrt{gR}$$
$$= \sqrt{9.8 \times 6.5 \times 10^6} \text{ மீ/வி}$$
$$= 8 \text{ கி.மீ/வி அல்லது } 5 \text{ மைல்/வி}$$

இது ஸ்புட்னிக் I, எக்ஸ்ப்ளோரர் I ஆகியவை பெற்ற திசைவேகமாகும். (பார்க்க படம் *2-13*) 'தாழ்வாகச் சென்று கொண்டிருக்கும்' துணைக்கோள் புவியை ஒருமுறை சுற்றிவர எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் புவியின் பரிதியை v_c ஆல் வகுக்கக் கிடைக்கும்.



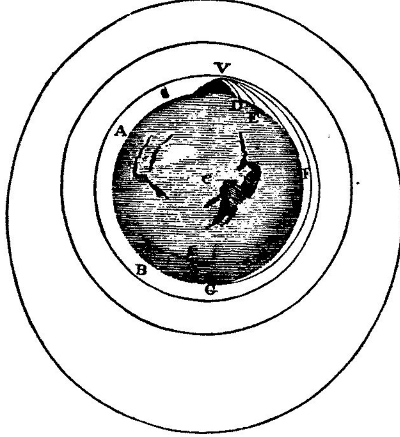
1958 ஜனவரி 31 அன்று அமெரிக்காவின் முதல் புவித் துணைக்கோளான எக்ஸ்ப்ளோரர் I (Explorer I) *ஏவப்படல்* (நன்றி: U. S. ராணுவம்)

படம் 2-13

$$T = \frac{40,000 \text{ கி.மீ}}{8 \text{ கி.மீ/வி}} \quad 5000 \text{ வி} = 83 \text{ நி}$$

உயரமான பாதைகளில் செல்லும் துணைக்கோள்கள் புவியைச் சுற்றி வர அதிக காலம் எடுத்துக் கொள்ளும்.

மேற்கண்ட கணக்கீடுகளை ஐசக் நியூட்டன் முதன் முதலில் 1660ஆம் ஆண்டு பிற்பகுதியில் செய்தார். படம் 2-14 நியூட்ட



படம் 2-14

புவியின் துணைக்கோளுக்கான ஐசக் நியூட்டனால் வரையப்பட்ட திட்டம்

ஞலேயே வரையப்பட்ட புவியின் துணைக்கோள் ஒன்றின் பாதையின் படத்தைக் காட்டுகிறது. ஒரு உயரமான மலையின் உச்சியிலிருந்து, ஒரு பெரிய பீரங்கி சுடப்படுவதைப் பற்றி அவர் விவாதித்தார். குண்டின் தொடக்கத் திசைவேகம் 5 மை/வி அளவை அடைய முடியுமானால் பீரங்கி குண்டு படத்தில் காட்டியுள்ளபடி புவியை வட்டமிடும் என்று அவர் முன்னுரைத்தார். சிறிய, மற்றும் பெறக்கூடிய மேலும் அதிக தொடக்கத் திசைவேகங்களுக்கான பீரங்கிக் குண்டின் பாதையையும் கூட ஓவியம் காட்டுகிறது. புவித்துணைக் கோளைப் பற்றிய கருத்து அண்மையில் ஏற்பட்ட ஒன்றல்ல என்பதனை நாம் காணலாம். நியூட்டனின் காலத்திலிருந்தே அது விஞ்ஞானிகளின் மனதில் அது ஒரு முதன்மை இடம் வகிக்கும் கனவாக இருந்து வந்திருக்கிறது.

2-8 அலகுகளைச் சரிபார்த்தல்

பிழை விலக்கம்

கணக்குகளைச் செய்வதிலோ அல்லது வாய்பாடுகளைச் சரி

பார்க்கும் முயற்சியிலோ சமன்பாட்டின் இருபுறங்களிலும் அலகுகளைச் சரிபார்ப்பது மிகவும் பயனுள்ளதாகும். பிழை நேர்ந்திருப்பின் அது சமன்பாட்டின் இடதுபுறத்திலுள்ள அலகுகளினின்றும் வேறுபட்ட அலகுகளை வலதுபுறத்தில் கொடுப்பதன்மூலம் வெளிப்படும், காட்டாக, $v = \sqrt{2as}$ என்னும் வாய்பாட்டை *CGS* முறையில் சரிபார்ப்போம். இடதுபுறத்தில் உள்ள அலகுகள் செ.மீ/வி ஆகும். முடுக்கத்தை செ.மீ/வி^{2} கணக்கில் சரியாகப் பயன்படுத்துவோமாயின் வலது புறத்தில் உள்ள அலகுகள்

$$\text{அலகுகள்} = \sqrt{\left(\frac{\text{செ.மீ}}{\text{வி}^2}\right) \times \text{செ.மீ}} = \sqrt{\frac{(\text{செ.மீ})^2}{(\text{வி})^2}} = \frac{\text{செ.மீ}}{(\text{வி})}$$

வலது புறத்திலுள்ள $\sqrt{2}$ என்ற கூறு அலகுகளற்ற வெறும் எண்ணுதலால் இம்முறையில் அதனைச் சரிபார்க்க முடியாது.

மாதிரி கணக்கு 1

மாணவனொருவன் தானே விழும் ஒருபொருள் கடந்த தொலைவுக்கான வாய்பாட்டை $s = \frac{1}{2}at$ அல்லது $s = \frac{1}{2}at^2$ ஆகியவற்றுள் ஏதோ ஒன்று என்று நினைவில் கொண்டுள்ளான். அலகுகளைச் சரிபார்ப்பதன்மூலம் அவன் எவ்வாறு சரியான வாய்பாட்டை அறியமுடியும்?

மாறுதலுக்காக வேண்டி, அவன் ஆங்கில அலகுகளைப் பின்பற்றுவதாகக் கொள்வோம். இனி,

$$(at)\text{-ன் அலகுகள்} = \left(\frac{\text{அடி}}{\text{வி}^2}\right) \times \text{வி} = \text{அடி}/\text{வி}$$

$$(at^2)\text{-ன் அலகுகள்} = \left(\frac{\text{அடி}}{\text{வி}^2}\right) \times \text{வி}^2 = \text{அடி}$$

இரண்டாவது வாய்பாடே தொலைவுக்கான சரியான அலகைக் கொண்டுள்ளது என்பதை நாம் காண்கிறோம்.

மாதிரி கணக்கு 2

மைய நோக்கு முடுக்கத்தை ஆரம் *R*, சுழற்சி நேரம் *T* (ஒரு முறைச் சுழல்வதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம்) ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் குறிப்பிடலாம். *T*, *R* ஆகியவற்றின் சரியான இணைப்பு எது என்பதை உறுதிப்படுத்தப் பின்வரும் தொடர்புகளின் அலகுகளைச் சரிபார்க்க: (a) T^2/R, (b) T^2R, (c) R/T^2.

$$\text{(a)} \left(\frac{T^2}{R}\right)\text{-ன் அலகுகள்} = \frac{\text{வி}^2}{\text{செ.மீ}}$$

(b) $(T^2 R)$-ன் அலகுகள் = (வி^{2}) × செ.மீ

(c) $\left(\frac{R}{T^2}\right)$-ன் அலகுகள் = $\frac{\text{செ.மீ}}{\text{வி}^2}$

கடைசித் தொடர்பு a_c-க்கான சரியான அலகுகளைக் கொண்டுள்ளது என்பதை நாம் காண்கிறோம். உண்மையில் a_c-க்கான சரியான வாய்பாடு $4\pi^2$ என்ற எண்ணியல் கூற்றையும் கொண்டிருக்கும், எனவே சரியான வாய்பாடு

$$a_c = \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

வட்டத்தின் பரிதி $(2\pi R)$யை சுழற்சி நேர(T)த்தால் வகுக்கக் கிடைப்பது v என்ற திசைவேகம் என்பதைக் கருத்தில் கொண்டும் மேற்கண்ட வாய்பாட்டை நேரடியாகப் பெறலாம்.

$$a_c = \frac{\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2}{R}$$

அல்லது $a_c = \frac{4\pi^2}{T^2} R$

1. சமன்பாடுகள் 2-1- ம்2-4-ம் வலதுபுறத்தில் s/t என்ற ஒரே மதிப்பைக் கொண்டுள்ளன; எனினும் அவை முற்றிலும் வேறுபட்ட சமன்பாடுகள். விளக்குக.

2. ஒரு பொருள் ஓய்விலிருந்து சீரான முடுக்கத்துடன் புறப்படுகிறது. s, t ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் அதன் கணப்பொழுது திசைவேகம் $v = 2s/t$ ஆகும். இந்த வாய்பாட்டைப் பெறுக.

3. கணக்கு 2-ல் $v = 2s/t$ என்றால் அது $v = s/t$ என்ற சமன்பாட்டுடன் எவ்வாறு ஒத்திசையும் ?

4. கணக்கு 2-ல் உள்ள பொருள் v_0 என்ற தொடக்க திசை வேகத்துடன் புறப்படுவதாகக் கொள்வோம். v_0, s_1, t ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் v-க்கான ஒரு வாய்பாட்டைப் பெறுக.

5. ஒரு எறிபொருள் அதன் பாதையில் எந்தப் புள்ளியில் சிறுமத் திசை வேகத்தைக் கொண்டிருக்கும் ?

6. ஒரு கார் v_1 என்ற திசைவேகத்தில் s_1 என்ற தொலைவை

யும் v_2 என்ற திசைவேகத்தில் s_2 என்ற தொலைவையும் கடக்கிறது. அதன் தொலைவைப் பொறுத்த சராசரித் திசைவேகம் என்ன? (இங்கு s_1, s_2 ஆகியவை எடையிடும் அளவுகளாகும்.)

7. ஒரு சிறுவன் ஒரு பந்தை நேர் மேலே தூக்கி எறிந்து 2 விநாடிகளுக்குப் பின் (அதை அவன் எறிந்த இடத்திலேயே) அதனை பிடிக்கிறான். அது அவன் கையை விட்டகன்றபோது எவ்வளவு வேகத்துடன் சென்றது? எறியப்பட்ட இடத்திலிருந்து அது எவ்வளவு உயரம் சென்றது?

8. ஒரு மோட்டார் வண்டி ஒரு நேரான பெருவழியே மணிக்கு 30 மைல் மாறாத வேகத்துடன் ஒரு 10 மைலையும் மணிக்கு 60 மைல் மாறாத வேகத்துடன் மற்றொரு 10 மைலையும் கடக்கிறது. முழு பயணத்தின்போதும் அதன் சராசரி வேகம் என்ன?

9. விநாடிக்கு 10 மீட்டர் திசைவேகத்துடன் சென்று கொண்டிருக்கும் ஒரு பொருள் சீராக எதிர் முடுக்கப்பட்டு (decelerated) 20 மீட்டர் தொலைவில் ஓய்வுபெறுகிறது. அதன் எதிர்முடுக்கம் என்ன? அது ஓய்வு பெறுவதற்கு எடுத்துக் கொண்ட நேரம் எவ்வளவு?

10. வலக்களத்தவர் (right fielder) ஒருவர் மூலதளத்திலிருந்து (home plate) 200 அடி தொலைவில் இருக்கிறார். மூலதளத்ததை நோக்கி அவர் பந்தை வீசும் அதே நேரத்தில் ஒரு ஓட்டக்காரர் மூன்றாவது தளத்தை விட்டு புறப்பட்டு 3.5 விநாடியில் மூல தளத்தையடைகிறார். பந்து அடைந்த பெரும உயரம் 64 அடி என்றால் ஓட்டக்காரர் சரியான நேரத்தில் மூலதளத்தை அடைந்தாரா?

11. ஒரு புவித் துணைக்கோள் 330 மைல் உயரப் பாதையைக் கொண்டுள்ளது. துணைக்கோளைச் சுட்டு வீழ்த்தும் முயற்சியில் மீதிறன் (Super powerful) வாய்ந்த ஒரு பீரங்கி செங்குத்தாக வைக்கப்படுகிறது. புவியீர்ப்பு விசையால் ஏற்படும் முடுக்கம் மாறாமல் (32அடி/வி^{2}) இருப்பதாகக் கருத்திற் கொள்ளவும்; காற்று உராய்வையும் புறக்கணிக்கவும். பீரங்கிக் கொண்டு துணைக் கோளைச் சற்றே நெருங்க அதன் தொடக்கத் திசைவேகம் என்னவாக இருக்கவேண்டும்? குண்டு துணைக்கோளை அடைய எவ்வளவு நேரம் எடுத்துக் கொள்ளும்?

12. ஒரு எஃகுப் பந்து ஒரு எஃகுத் தகட்டின்மீது ஒரு விநாடி அலைவு நேரத்துடன் மேலும் கீழும் துள்ளுகிறது. அது எவ்வளவு உயரத்திற்குத் துள்ளும்.

13. மணிக்கு 80 மைல் வேகத்துடன் செல்லும் ஒரு கார் தடையிடப்பட்ட ஒரு விஞடி நேரத்தில் நின்றுவிடுகிறது. தடையிடப்பட்டிருக்கும்போது அது எவ்வளவு தூரம் செல்லும்? முடுக்கம் சீரானதெனக் கருத்திற் கொள்க.

14. மணிக்கு 60 மைல் வேகத்தில் சென்றுகொண்டிருக்கும் ஒரு கார் ஒரு உறுதியான சுவற்றில் மோதிக் கொள்கிறது. எந்த உயரத்திலிருந்து அது விழுந்திருந்தால் இதே தாக்கை (Impact)ப் பெறும்?

15. மேற்கூறப்பட்ட கார் மணிக்கு 60 மைல் வேகத்துடன் செல்லும் ஒரு கனமான லாரியுடன் மோதிக் கொள்கிறது. மோதலின்போது லாரியின் வேகம் குறைக்கப்படவில்லை எனக் கருத்திற் கொள்க. இப்பொழுது கார் விழக்கூடிய இணைமாற்று உயரம் என்ன?

16. மகிழ்ச்சியான ஜெட் விமானப் பயணத்திற்கு விமானம் 2*g*-க்கும் அதிகமான கிடைத்தள முடுக்கத்தைப் பெற்றிருக்கக் கூடாது எனக்கொள்க. நியூயார்க்குக்கும் பிலடெல்ஃபியாவுக்கும் இடையேயுள்ள தொலைவு 100 மைல் என்றுல் இத்தகைய சூழ்நிலைகளில் நியூயார்க்கிலிருந்து புறப்பட்டு பிலடெல்ஃபியாவை அடைய இந்த ஜெட் விமானம் மேற்கொள்ளக்கூடிய மீ விரைவான பயணம் என்ன ? பயணத்தின்போது அடைந்த பெருமத் திசைவேகம் என்ன ?

17. ஒரு பந்து சமதளப் பரப்பு ஒன்றிலிருந்து 64அடி உயரத்திலிருந்து போடப்பட்டு 16 அடி உயரம் துள்ளியெழுகிறது. பரப்பைத் தொடுவதற்குச் சற்றுமுன் பந்தின் திசை வேகம் என்ன? பந்து போடப்பட்ட கணத்திலிருந்து துள்ளலின் உச்சியை அடையும்வரை கடந்த நேரம் எவ்வளவு? பரப்பைவிட்டு சற்று அகன்ற பின்னர் அதன் திசைவேகம் என்ன?

18. ஒரு அமெரிக்கப் படை ஏவுகணை 1000 அடி கடக்கும் நேரத்தில் மணிக்கு 600 மைல் வேகத்தை அடைய முடியும். அதன் முடுக்கம் *g*-ஐப்போல் எத்தனை மடங்காகும்?

19. ஒரு எவுகணை எதிர்ப்பான் (antimissile) 200 கி.மீ உயரத்தில் வந்து கொண்டிருக்கும் ஏவுகணை ஒன்றைத் தடுத்து நிறுத்த ஒரு நிமிட எச்சரிக்கை நேரம் கொண்டுள்ளதாகக் கருதுக. அதன் ஏவுகணை எந்திரங்கள் 10 *g*-க்குச் சமமான பெரும முடுக்கத்தைக் கொடுக்கமுடியுமாயின், அது நேராக மேல்நோக்கிச் சுடப்படுமாயின் ஒரு நிமிட எச்சரிக்கை நேரம் போதுமானதா?

20. விஞடிக்கு 50 அடி என்ற மாறுத வேகத்துடன் செல்லும் ஒரு காரோட்டி மறைந்திருக்கும் ஒரு காவல் துறையினரைக் கடந்து செல்கிருர். காரோட்டி ஏதேனும் ஒரு சட்ட மீறுதலுக்காக தண்டிக்கப்பட வேண்டும் என எண்ணிய காவல் துறையினர் நான்கு விஞடிகள் கழித்து ஓய்விலிருந்து புறப்பட்டு மாருத முடுக்கம் ஒன்றுடன் அவரைப் பின் தொடருகிருர். அவர் காரோட்டியை மறைவிடத்திலிருந்து 1200 அடி தொலேவில் பிடிக்கிருர். காவலர் எவ்வளவு நேரம் பின் தொடர்ந்திருப்பார்? அவருடைய முடுக்கம் என்ன? அவர் காரோட்டியை அடைந்த போது எவ்வளவு வேகத்துடன் சென்றிருப்பார்?

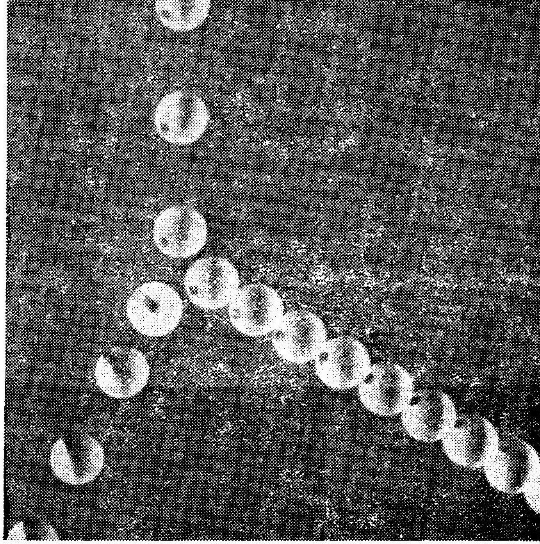
21. ஓய்விலிருந்து புறப்படும் ஒரு பொருள் g-க்குச் சமமான மாருத முடுக்கம் ஒன்றை ஓராண்டு காலத்திற்குப் பெறுகிறது. சார்பியல் விசையில் (relativistic mechanics) படி அதன் இறுதித் திசை வேகம் என்ன? 10 ஆண்டுகளுக்கு அது முடுக்கம் பெறுமாயின் அதன் வேகம் ஒளியின் வேகத்திற்கு எவ்வளவு அண்மையில் இருக்கும் ?

22. புவியிலிருந்து சந்திரனின் தொலேவு 240,000 மைல் இருக்குமாயின் புவியைச் சுற்றிய அதன் பாதையில் சந்திரனின் மைய நோக்கு முடுக்கம் என்ன ?

23. சந்திரனேப்போல் 60 பங்கு புவியின் மையத்திற்கு அருகில் இருக்கும் ஒரு துணேக்கோள் சந்திரனேப்போல் எத்தனே மடங்கு அதிகமான மைய நோக்கு முடுக்கத்தைப் பெற்றிருக்கும்? மைய நோக்கு முடுக்கம் புவி மையத்திலிருந்து உள்ள தொலேவின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலிலுள்ளது என நீவிர் கூறுவீரா ?

24. ஒரு நீரோடை மணிக்கு 5 மைல் வேகத்தில் நேராக மேற்கு நோக்கிப் பாய்கிறது. ஒரு படகு நீரைப் பொறுத்து மணிக்கு 10 மைல் வேகத்தில் வடக்கிற்கு 30° கிழக்கு நோக்கிச் செல்லுகிறது. கரையிலிருந்து நோக்கும்பொழுது படகின் திசை வேகமும் திசையும் என்னென்ன ?

25. 24 மணி நேர கால இடைவெளியில் நள்ளிரவு முதல் காலே 10 மணி வரை வெப்பநிலே 30°-லிருந்து 60°- க்குச் சீராக உயர்ந்து காலே 10 மணி முதல் மாலே 4 மணி வரை 60°-யிலேயே நிலேத்து மாலே 4 மணி முதல் நள்ளிரவு வரை 40°-க்குச் சீராகக் குறையுமாயின் அந்தக் கால அளவில் நேரத்தைப் பொறுத்த சராசரி வெப்பநிலே என்ன?



விசை-இயக்கவியல்
(Dynamics)

இயல் 3

4. விசை-இயக்கவியல்

3-1 நியூட்டனின் இயக்கவியல் விதிகள்

யாவற்றையும் பற்றிய பொது விளக்கம்

விசை-இயக்கவியல் என்பது பொருட்களுக்கிடையே யுள்ள செயலெதிர்ச் செயல்களை விவரிக்கும் சில பொதுத் தொடர்பு களைப்பற்றிய ஆய்வாகும். பொருளின் ஒரு பொதுவான பண்பு அதன் நிலைமநிறை (inertial mass) யாகும். பொருட்களின் செயலெதிர்ச் செயல்களை விவரிப்பதில் பயன்படும் மற்றொரு கருத்து விசை (force) யாகும். நிலைமநிறை, விசை ஆகிய இவ்விரு கருத்துகளும் முதன் முதலில் ஐசக் நியூட்டனால் அளவு சார்ந்த (quantitative) முறையில் வரையறுக்கப்பட்டன. (இந் நூலில் நிறை, நிலைமநிறை ஆகிய சொற்கள் ஒரே பொருளைக் கொண்டுள்ளன; மாறி மாறிப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.) நிறை விசை ஆகியவற்றின் வறையறைகள் நியூட்டனின் இயக்க விதிகளில் அடங்கியுள்ளன. நாம் முதலில் அவ்விதிகளைச் சுருக்க மாகக் கூறிவிட்டுப் பின்னர் நிறை, விசை ஆகியவற்றின் வறை யறைகள் நியூட்டனின் இயக்கவியல் விதிகளில் அடங்கியுள்ளன. நாம் முதலில் அவ்விதிகளைச் சுருக்கமாகக் கூறிவிட்டுப் பின்னர் நிறை, விசை ஆகியவற்றின் வரையறைகளுடன் அவைகளை ஆராய்வோம்.

நியூட்டனின் முதல் விதி

ஒரு பொருள் புறத் தூண்டுதலற்றிருக்கும்போது (அதன் மீது செயற்படும் நிகர (net) விசை சுழியாகும்போது) ஓய்விலோ அல்லது மாறாதத் திசைவேக நிலையிலோ (சுழிமுடுக்கநிலை) நீடித்து இருக்கிறது. இதுவே கணிதவியலாக

முதல் விதி $\mathbf{F}_{நிகர} = 0$ என்னும்போது $a = 0$ எனக் கூறுகிறது.

நியூட்டனின் இரண்டாம் விதி

ஒரு பொருளின் மீது செயற்படும் நிகரவிசையானது அதன் நிறை முடுக்கம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனுகும்.

இரண்டாம் விதி $\mathbf{F}_{\text{நிகர}} = Ma$

நியூட்டனின் மூன்ருவது விதி

இரு பொருட்கள் செயலெதிர்ச் செயற்படும்போது இரண்டாவது பொருளின் காரணமாக முதற்பொருளின் மீது செயற்படும் விசை முதற் பொருளின் காரணமாக இரண்டாவது பொருளின் மீது செயற்படும் விசைக்குச் சமமாகவும் எதிராகவும் இருக்கும்.

மூன்றும் விதி $\mathbf{F}_{A \text{ due to } B} = -\mathbf{F}_{B \text{ due to } A}$

முதலில் நியூட்டனின் முதல் விதியை ஆராய்வோம். கணிதவியலாக நோக்கும்பொழுது அது மிகவும் பொதுவான, இரண்டாவது விதியின் ஒரு சிறப்பு வகையாகும். இந்த சிறப்பு வகையின் தெளிவான கூற்று (statement)க்கான காரணம் என்னவெனில் முதல் நோக்கில் அது அன்ருட, பொதுவான அனுபவத்திற்கு மாருகத் தோன்றுகிறது. இயங்கும் பொருட்கள் தள்ளப் படவோ அல்லது இழுக்கப் படவோ இல்லையெனில் மாருத்திசை வேகத்துடன் செல்லாமல் வழக்கமாக ஓய்வு பெறுவதை நாம் காண்கிருேம். காட்டாக, கார் ஒன்றின் எஞ்சினை நிறுத்திவிட்டால் அது ஓய்வு பெறும். நியூட்டனின் முதல் விதியை நாம் நம்புவோமாயின் எஞ்சினின் உதவியின்றி மலைப்பாதையில் கீழ்நோக்கி வரும் கார் ஒன்றின்மீது ஒரு எதிர்விசைச் செயற்படவேண்டும். உண்மையில், கார்மீது டயரை எதிர்த்து பெருவழி செயற்படுத்தும் எதிர் விசை, காற்று எதிர்ப்பு ஆகிய புறவிசைகள் அது ஓய்வு பெறும் வரை செயற்பட்டு அதற்கு ஒரு எதிர் முடுக்கத்தைக் கொடுக்கின்றன. நியூட்டனின் காலம்வரை ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட விஞ்ஞானக் கோட்பாடுகள் (Scientific dogma) அரிஸ்டாட்டில் போதித்த பழைய கோட்பாடுகளின் (teachings) அடிப்படையில் அமைந்திருந்தன. புறவிசைகள் செயற்படாதபோது எல்லாப் பொருட்களும் ஓய்வு பெறவேண்டும் என்பது அரிஸ்ட்டாட்டிலின் நிகழ்ச்சித் திட்டங்களின் ஒரு அடிப்படைத் தத்துவமாகும். அவருடைய பிழைகளில் மற்றொன்று பொருட்கள் அவற்றின் எடைகளையொத்த வீதத்தில் விழுகின்றன என்னும் அவரது உறுதியான துணிபுரை (assertion)யாகும். அரிஸ்ட்டாட்டிலின் இவ்விரு துணிபுரைகளையும் முதலில் குறைகூறியவர்களுள் ஒருவர் கலிலியோ என்பதை நாம் அறிவோம்.

நியூட்டனின் முதல் விதியைப்பற்றி ஒரு இறுதிமுடிவு செய்யப் படவேண்டும். பார்வையாளர் தானே முடுக்கம் பெற்றிருப்பின் முதல் விதி மீறப்படுவதாகத் தோன்றுவது தெளிவு. நிலைம அமைப்பு (inertial system) என நியூட்டனால் அழைக்கப்பட்ட ஒரு அமைப்பில் பார்வையாளர் இருக்கும்போது மட்டுமே இயக்க விதி கள் மூன்றும் உண்மையாகும் என்று நியூட்டன் குறிப்பிட்டார். நிலையான விண்மீன்களைப் பொறுத்தவரை முடுக்கப் பெறாத எந்த அமைப்பும் நிலைம அமைப்பு என நியூட்டன் வரையறுத்தார்.

இந் நூலைக் கவனமாகப் படிப்பவர் நியூட்டனின் இரண்டாவது விதியினால் குழப்பமடையலாம். ஏனெனில், அது நுட்பமாக வரையறுக்கப்படாத விசை, நிறை என்ற இரு புதிய ராசிகளைப் பயன்படுத்துகிறது. எனினும், நியூட்டனின் இரண்டாவது மூன்றாவது விதிகளின் இணைப்பு நிறை, விசை ஆகிய இரண்டையும் தனிச் சிறப்புடன் வரையறுக்கிறது.

இந் நூலில் நியூட்டனின் மூன்றாவது விதியின் மிகவும் நவீன இணைமாற்றான உந்தம் அழிவின்மை விதியைப் பயன்படுத்தி நிலைம நிறையை வரையறுப்போம். நியூட்டனின் மூன்றாவது விதிக்கு முற்றிலும் புறம்பான நிகழ்வுகள் இப்பொழுது காணப்படுவதால் அது சரியல்ல என்பதை இப்போது நாமறிகிறோம், கம்பியில்லாத் தந்தி மூலம் அனுப்பும் சமிக்ஞைகள் ஒளியின் வேகத்தைவிட வேகமாகச் செல்லமுடியாது என்பதைச் சார்புக் கொள்கையைப் பற்றிய இயலில் நாம் காண்போம். இக்காரணத்தினால் நியூட்ட னின் மூன்றாவது விதி தொலைவில் செயற்படும் விசைக்குப் பொருந் தாது; அப்படிப் பொருந்துமாயின் வரம்பில்லாத் திசை வேகத் துடன் சமிக்ஞைகளை அனுப்ப விசைகளைப் பயன்படுத்த முடியும். மூன்றாவது விதி மீறப்படுவதற்கான ஒரு எடுத்துக்காட்டு மின் னூட்டம் பெற்ற ஒரு துகள் மின்னோட்டத்தைத் தாங்கும் ஒரு கம்பியினின்றும் விலகிச் செல்வதாகும். இயல் 8-ல் கூறப்பட் டுள்ளதுபோல் கம்பியானது மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்மீது ஒரு காந்த விசையைச் செயற்படுத்துகிறது. ஆனால் அதே நேரத்தில் துகளின் காரணமாகக் கம்பியின்மீது செயற்படும் நிகரவிசைச் சுழியாகும். இது, அவ்விரு விசைகளும் ஒரே மதிப்பையுடையதா யிருக்கவேண்டும் என்று கூறும் நியூட்டனின் மூன்றாவது விதிக்குப் புறம்பானதாகும். மாறாக நியூட்டனின் மூன்றாவது விதி ஓய்வில் இருக்கும் பொருட்களுக்கும் தொடர்புள்ள விசை (Contact forces) களுக்கும் இன்னமும் பொருந்தும். நாமறிந்தவரை உந்தம் அழி வின்மை விதி இயற்கையின் சிறிதும் பிழைபடாத துல்லியமான விதியாகும். அது மீறப்படுவது ஒருபோதும் காணப்பட்டதில்லை ; அது எல்லாவகைச் சோதனைகளாலும் முற்ற முழுக்க சரிப்பார்க்க

பட்டிருக்கிறது. நியூட்டனின் விதிகளைப் பற்றிய விவாதத்தைத் தொடருமுன் நாம் முதலில் நிலைமநிறையை வரையறுக்கவேண்டும். இக்காரணத்தினுல் நமது அடுத்த தலைப்பு உந்தம் அழிவின்மை விதியாகும்.

3-2 உந்த அழிவின்மை (Conservation momentum)
இயற்கையின் ஒரு புனித விதி

ஒரு பொருளின் உந்தம் **P**, என்பது அதன் நிறை, திசைவேகம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலன் என வரையறுக்கப்படுகிறது.

உந்தத்தின் வரையறை $\mathbf{P} = M\mathbf{v}$

புறவிசைகள் ஏதும் இல்லாதபோது இரு துகள்களின் உந்தங்களின் கூட்டுத் தொகை மாறுமல் இருக்கிறது என உந்தம் அழிவின்மை விதி கூறுகிறது. காட்டாக, M_A, M_B என்ற இரு துகள்கள் மோதிக்கொண்டால் $\mathbf{P}_A + \mathbf{P}_B = \mathbf{P}'_A + \mathbf{P}'_B$

அல்லது

உந்தம் அழிவின்மை $M_A\mathbf{v}_A + M_B\mathbf{v}_B = M_A\mathbf{v}_A' + M_B\mathbf{v}_B'$ (3-4)

$\mathbf{v}_A$, $\mathbf{v}_B$ என்பவை மோதலுக்குப் பின் M_A, M_B என்ற நிறைகளின் திசைவேகங்கள், $\mathbf{v}_A'$, $\mathbf{v}_B'$ என்பவை மோதலுக்குப்பின் அவற்றின் திசைவேகங்கள்.

இவ்விதியைக் கொண்டு நிறையைத் துல்லியமாக வரையறுக்கும் நிலையில் நாம் இப்போது உள்ளோம். M_A என்பது ஒரு தெரிந்த படித்தர நிறை எனக் கொள்வோம். அது ஃபிரான்சில் பாதுகாக்கப்படும் படித்தர 1 கி.கி பிளாட்டின உலோகக் கலவை உருளையாக இருக்கலாம். இனி, எந்தவொரு தெரியாத நிறை M_B-ஐயும் அதனை M_A-ஆல் தாக்குவதன் மூலம் கணக்கிடலாம். M_B தொடக்கத்தில் ஓய்வில் இருந்தால் சமன்பாடு 3-4-ன் படி

$$\mathbf{P}_A = \mathbf{P}_A' + \mathbf{P}_B'$$

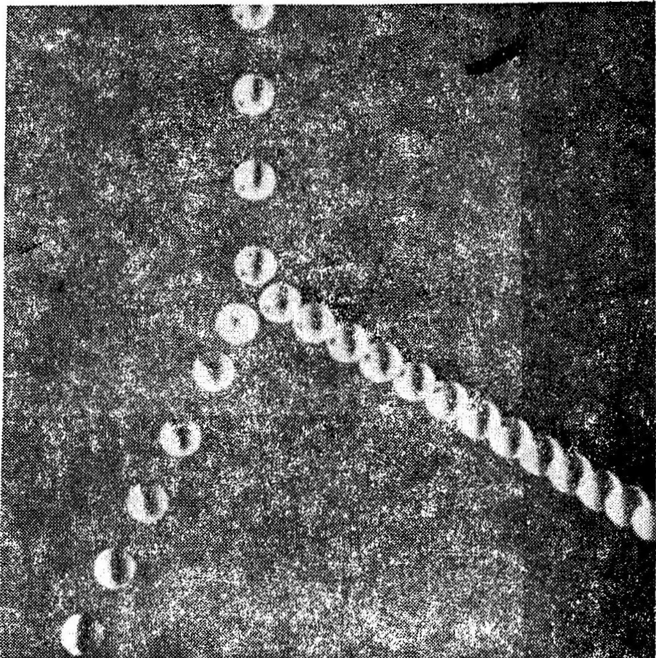
$$\mathbf{P}_B' = \mathbf{P}_A - \mathbf{P}_A'$$

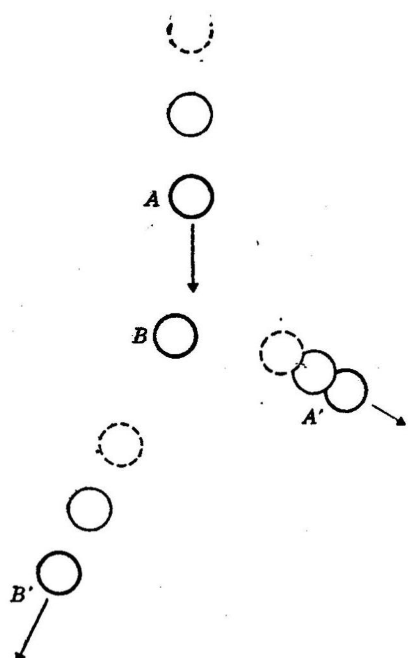
$$M_B = \frac{\mathbf{P}_A - \mathbf{P}_A'}{\mathbf{v}_B'}$$

அல்லது $M_B = M_A \dfrac{\mathbf{v}_A - \mathbf{v}_A'}{\mathbf{v}_B'}$

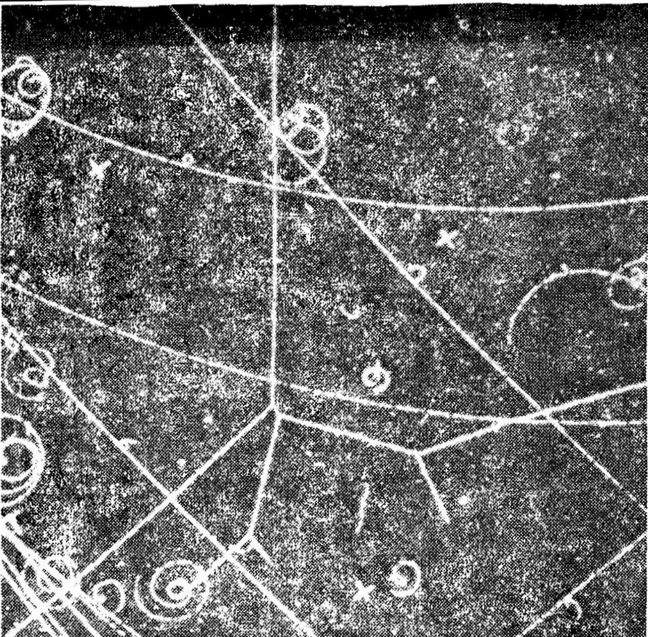
தொடக்க இறுதித் திசைவேகங்களின் எளிய அளவீடுகளால் மட்டும் எந்த ஒரு பொருளின் நிலைம நிறையை மதிப்பிடலாம் என்பதை நாம் காண்கிறோம்.

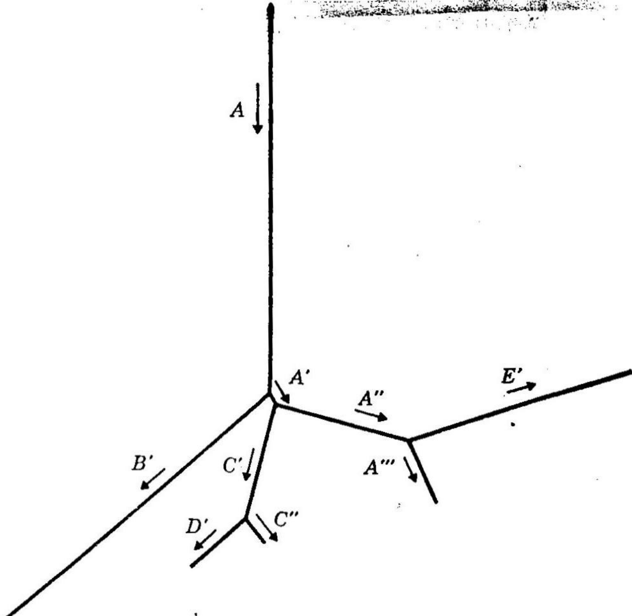
அத்தகைய மதிப்பீடுகள் நிறைகள் கூட்டப்படும் தன்மையான (additive) என்னும் ஆய்நிலை (experimental)முடிவைத் தருகின்றன.





படம் 3-1
சமநிறையுள்ள இரு பில்லியட் பந்துகளின் மோதல். B பந்து தொடக்கத்தில் ஓய்வில் இருந்தது. பந்து **A** உச்சியிலிருந்து வந்து வலப் புறமாகத் திருப்பப்பட்டது. இந்த ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் (stroboscope) படம் ஒளிதெறிப்பு வீதம் (flash rate விநாடிக்கு 30) பௌதிகவியல் ஆய்வுக் குழுவின் மூலமாகக் கிடைக்கப்பெற்றது.





படம் 3-2

தொடக்கத்தில் ஓய்வில் இருக்கும் புரோட்டான்களுடன் ஒரு புரோட்டானின் அடுத்தடுத்த மோதல்கள். புரோட்டான், A உச்சியிலிருந்து வந்து முதலில் புரோட்டான், B-உடன் மோதுகிறது. B, C, D, E, ஆகிய புரோட்டான்கள் திரவ ஹைடிரஜனின் ஹைடிரஜன் அணுக்கருக்களாகத் தொடக்கத்தில் ஓய்வில் இருந்தன,

இப்படம் திரவ ஹைடிரஜன் குமிழ்க்கலக்குழுவால் கலி.: போர்னியாப் பல்கலைக் கழகத்திலுள்ள லாரென்ஸ் கதிர் வீச்சு ஆய்வுக்கூடத்தில் எடுக்கப்பட்டது. குமிழ்க்கலத்தில் இயங்கும் புரோட்டான்கள் சிறிய குமிழிகளாலான பாதைகளை உருவாக்கும்.

இதன் மூலம் M_A, M_C ஆகிய இருநிறைகளின் இணைந்த நிறை M_D-ன் மேற்கூறியதை யொத்த மதிப்பீடு M_B, M_C ஆகியவற்றின் தனித்தனியான மதிப்பீடுகளின் கூட்டல் தொகைக்கு எண்ணியல் வகையில் சமமாக இருக்கும் எனப் பொருள் கொள்கிறோம். நிறையின் கூட்டப்படும் தன்மை நமக்குத் தெளிவாகத் தோன்றலாம். ஆனால் தெளிவானதோ இல்லையோ, இயற்கையைப் பற்றிய எல்லா ஊகங்களும் சோதனை வாயிலாக சரிபார்க்கப் பட வேண்டும். கூட்டப்படும் தன்மையற்ற பௌதிக ராசிகளும் உள்ளன. வெக்டர்களின் எண்மதிப்பு ஒரு எடுத்துக்காட்டாகும். மற்றொன்று பருமன்களின் கூட்டலாகும். ஒரு குவார்ட்டர் (qt) ஆல்கஹாலை ஒரு குவார்ட்டர் நீருடன் சேர்த்தால் 2 குவார்ட்டரைவிட, மதிப்பிடக்கூடிய அளவுக்குக் குறைந்த பருமன் கிடைக்கிறது.

சமன்பாடு 3-5 ஆல் வரையறுக்கப்பட்ட நிறையானது மிக அதிகத் திசைவேகங்களில் (ஒளி வேகத்திற்குப் பக்கத்தில்) செல்லும் போது வியத்தகு வகையில் செயலாற்றுகிறது. ஒரு பொருளின் நிறை அதன் திசை வேகத்தோடு அதிகமாவதாகக் காணப்படுகிறது. சார்புக் கொள்கையைப் பற்றிய இயல் 11-ல் கூறியபடி இயங்கும் பொருள் ஒன்றின் நிறை

$$\text{சார்பியல் நிறை } M = \frac{M_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (3\cdot6)$$

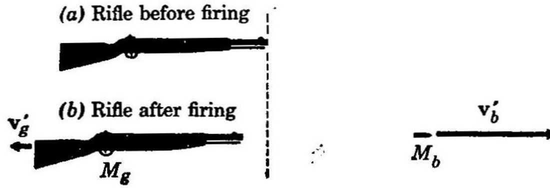
ஆகும்; M_0 என்பது ஓய்வில் இருக்கும்போது பொருளின் நிறை; C என்பது ஒளியின் திசைவேகம். 11ஆம் இயல்வரை நிறையானது திசை வேகத்தைச் சார்ந்திராமல் மாறாமல் இருக்கிறது எனத் தோராயமாகக் கொள்வோம்.

விசையின் வரையறை, நியூட்டனின் இரண்டாவது விதி ஆகியவற்றைப் பற்றிக் கூறுமுன் உந்தம் அழிவின்மை விதியின் பரந்த பயன்களைப் பற்றி பின்வரும் கணக்குகளில் விளக்கப்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 1

3 கி.கி நிறையுள்ள ஒரு துப்பாக்கி 10 கிராம் நிறையுள்ள ரவைகளை வினாடிக்கு 60 மீட்டர் தொடக்கத் திசைவேகத்துடன் சுடுகிறது. துப்பாக்கியைத் தோளுடன் நன்றாக அழுத்திப் பிடித்திருக்காவிடில் துப்பாக்கித் தோளை இடிக்குமுன் அதன் பின்னசைவுத் திசைவேகம் என்ன? தொடக்கத்தில் துப்பாக்கியின்

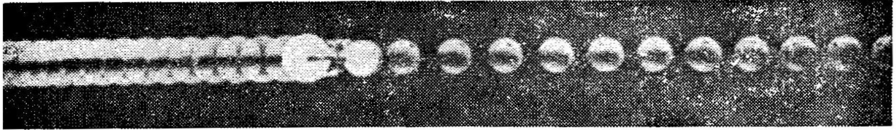
உந்தம், ரவையின் உந்தம், ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகை சுழி யாகும். எனவே, உந்தம் அழிவின்மை விதிப்படி துப்பாக்கியின்

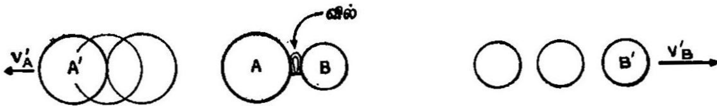


படம் 3–3

துப்பாக்கியின் உந்தம், ரவையின் உந்தம் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகை சுழியாகுமாறு துப்பாக்கியின் பின்னசைவுத் திசைவேகம் உள்ளது.
(a) சுடப்படுமுன் துப்பாக்கி (b) சுடப்பட்டபின் துப்பாக்கி

இறுதி உந்தம், ரவையின் இறுதி உந்தம் ஆகியவற்றின் குறியியல் கூட்டுத்தொகை சுழியாக வேண்டும்.





படம் 3-4

சமனில்லாத இரு நிறைகள் ஒரு வில்லினல் தள்ளப்படுவதின் ஸ்ட்ரோப் படம். பந்துA, பந்துB-ஐப்போல் இருமடங்கு நிறையுள்ளது.
(நன்றி : இயற்பியல் ஆய்வுக் குழு)

$$M_g v_g' + M_b v_b' = 0$$

$M_g v_g'$ என்பது சுடப்பட்டபின் துப்பாக்கியின் உந்தம், $M_b v_b'$ என்பது ரவையின் உந்தம்.

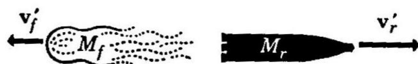
$$v_g' = -\frac{M_b v'}{M_g} = -\frac{10}{3 \times 10^3} \times 6 \times 10^4 \text{ செ.மீ/வி}$$

$$v_g' = -200 \text{ செ.மீ/வி.}$$

எதிர்க்குறி, துப்பாக்கியானது ரவை செல்லும் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் இயங்குகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 2

20 மெட்ரிக் டன் (20,000 கி.கி) ஏவுகணை ஒன்றின் நிறையில் 80 சதவீதம் எரிபொருளாகும். இந்த எரிபொருள் தரையைப் பொறுத்து விநாடிக்கு 1 கி.மீ சராசரித் திசைவேகத்துடன் வெளிப் படு வாயுக்களாக (exhaust gases) வெளியேற்றப்படின் ஏவுகணையின் இறுதித் திசைவேகம் என்ன ? புவியீர்ப்பையும் காற்றெதிர்ப்பை யும் புறக்கணிக்க, இக் கணக்கு முன்னதை ஒத்ததாகும். இங்கு, ஏவுகணைப் பின்னசையும் துப்பாக்கியை ஒக்கும். வெளிப்படு வாயுவின் ஒவ்வொரு மூலக் கூறையும் ஏவுகணையிலிருந்து சுடப் பட்ட ஒரு சிறிய ரவையாகக் கருதலாம். வெளிப்படு வாயுவின் மொத்த உந்தம் எரிபொருளின் நிறை M_f, வாயுவின் சராசரித் திசைவேகம் v_f' ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனாகும். முன் கணக் கிலுள்ளது போலவே மொத்த தொடக்க உந்தம் சுழியாகும். எனவே, இரு இறுதி உந்தங்களின் கூட்டுத் தொகையும் சுழியாக வேண்டும்.



படம் 3-5

சுடப்பட்டபின் ஏவுகணை. வெளிப்படு வாயுக்கள் சராசரித் திசைவேகம் v_f'-உடன் இடப்பக்கம் நோக்கிச் செல்ல ஏவுகணை v_r' என்ற திசைவேகத்துடன் வலப்பக்கம் நோக்கிச் செல்கிறது.

$$P_f' + P_r' = 0$$

அல்லது $M_f v_f' + M_r v_r' = 0$

M_r என்பது காலி ஏவுகணையின் நிறை, v_r' என்பது அதன் இறுதித் திசைவேகம். எனவே

$$v_r' = -\frac{M_f}{M_r} v_f'$$

எரிபொருளின் நிறையானது காலி ஏவுகணையின் நிறையைப்போல் நான்கு மடங்காததாலும் v_f' = விநாடிக்கு 1 கி.மீ ஆதலாலும்

$$v_r' = -4 \text{ (1 கி.மீ/வி)}$$

அல்லது $v_r' = -4$ கி.மீ/வி

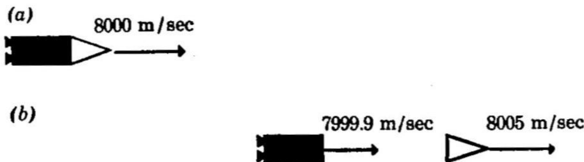
எதிர்க்குறி, ஏவுகணையானது வெளிப்படு வாயுக்களுக்கு எதிர்த் திசையில் இயங்குகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது.

எரிபொருள், காலி ஏவுகணை ஆகியவற்றின் நிறைகளுக்குள்ள விகிதத்தை அதிகமாக்குவதன்மூலம் ஏவுகணையின் இறுதித் திசை

வேகத்தை அதிகமாக்கமுடியும் என்பதை நாம் காண்கிறோம். எனினும் ஏவுகணையின் மேலுறை எரிபொருளைத் தாங்குமளவிற்கு உறுதியாக இருக்க வேண்டும் என்ற உண்மை M_f/M_r என்ற விகிதத்திற்கு ஒரு உச்ச வரம்பை விதிக்கிறது. கட்டமைப்பினுல் (structure) ஏற்படும் இந்த உச்சவரம்பைப் பலநிலை (Multistage) ஏவுகணைகளைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் தவிர்க்கலாம். மேற்கூறப்பட்ட கணக்கில் M_r-ன் ஒரு பகுதி இரண்டாவது நிலையைக் கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இனி, இந்த இரண்டாம் நிலை ஏவுகணை வினாடிக்கு 4 கி.மீ-க்குச் சமமான மேலும் ஒரு v_r' என்ற வேகத்தைப் பெறும். எனவே, காலி இரண்டாம் நிலையின் இறுதித் திசைவேகம் வினாடிக்கு 8 கி.மீ ஆகும். இத் திசைவேகம் புவியைச் சுற்றிய பாதையில் ஒரு பொருள் செல்வதற்குத் தேவையான திசைவேகமாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 3

ஒரு ஏவுகணையின் மூன்றும்நிலை, 500 கி.கி ஏவுகணை மோட்டாரையும் 10 கி.கி நுனிக் கூம்பையும் (Nose cone) கொண்டுள்ளது. இரண்டிற்குமிடையே அழுத்தப்பட்ட ஒரு வில் உள்ளது. தரையில் சோதித்துப் பார்த்தபொழுது வில்லானது நுனிக் கூம்பிற்கு ஏவுகணை மோட்டாரைப் பொறுத்தவரை வினாடிக்கு 5.1 மீட்டர் திசைவேகத்தைக் கொடுத்தது. மூன்றுவது நிலை, கோள்வீதியில் $v_0 = 8$ கி.மீ/வி என்ற திசைவேகத்துடன் சென்றுகொண்டிருக்கும் போது நுனிக்கூம்பு விடுவிக்கப்பட்டால் நுனிக்கூம்பு, ஏவுகணை மோட்டார் ஆகியவற்றின் திசைவேகங்கள் என்ன ?



படம் 3-6

(a) நுனிக்கூம்பு விடுவிக்கப்படுமுன். (b) ஒரு வில். நுனிக்கூம்பையும் ஏவுகணை மோட்டாரையும் தனித்தனியே தள்ளியபிறகு திசைவேகங்கள்.

$M_A = 500$ கி.கி என்பது ஏவுகணை மோட்டாரின் நிறையையும் $M_B = 10$ கி.கி என்பது நுனிக்கூம்பின் நிறையையும் குறிக்கட்டும் தொடக்க உந்தம் $(M_A + M_B)\ v_0$ ஆகும். உந்தம் அழிவின்மை விதிப்படி $M_A v_A' + M_B v_B' = (M_A + M_B)\ v_0$

மேலும், தரைச் சோதனையிலிருந்து $v_B' - v_A' = 5.1$ மீ/வி என்பதை நாமறிவோம். அல்லது

$$v_A' = v_B' - 5.1 \text{ மீ/வி}$$

உந்தச் சமன்பாட்டில் இதனைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$M_A (v_B' - 5.1\text{மீ/வி}) + M_B v_B' = (M_A + M_B)\, v_0$$

$$v_B' = v_0 + \frac{M_A}{M_A + M_B} \times 5.1 \text{ மீ/வி}$$

$$v_B' = 8005 \text{ மீ/வி}$$

$$v_A' = (8005 - 5.1) \text{ மீ/வி}$$

$$= 7999.9 \text{ மீ/வி}$$

வில், நுனிக் கூம்பிற்கு 5 மீ/வி அதிகத் திசைவேகத்தைக் கொடுப்பதை நாம் காண்கிறோம். ஏவுகணை மோட்டாரின் திசைவேகம் 0.1 மீ/வி அளவு குறைக்கப்படுகிறது.

3-3 விசை (Force)

பௌதிகத்தின் தள்ளலும் இழுப்பும்

இப்பொழுது, நிறைக்கும் உந்தத்திற்குமான துல்லியமான வரையறைகளை நாம் பெற்றிருப்பதால் விசையை வரையறுக்க நியூட்டனின் இரண்டாவது விதியைப் பயன்படுத்தலாம். உண்மையில் இவ்விதியின் மூலக்கூற்று $F = Ma$ என்பதல்ல; ஆனால் M என்ற நிறையின்மீது செயற்படும் விசையானது அந்நிறையின், நேரத்தைப் பொறுத்து உந்தம் மாறும் வீதமாகும் என்பதாகும்.

$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t} \text{ அல்லது } F = \frac{\Delta (Mv)}{\Delta t} \qquad (3\text{-}7)$$

ΔP என்பது Δt என்ற குறுகிய காலத்தில் M என்ற நிறையின் உந்தத்தில் ஏற்படும் மாறுதலாகும். ஒளிவேகத்தைவிட மிகக் குறைந்த சாதாரண திசைவேகங்களில் நிறை M-ஐ மாறாததாகக் கருதி அதனைத் தனியே பிரித்தெடுக்கலாம். இனி

$$F = M \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$\frac{\Delta v}{\Delta t}$ என்பது முடுக்கத்தின் வரையறையாதலால்

$$F = Ma$$

நிறையானது, சமன் 3-6-ன்படி, திசைவேகத்துடன் அதிகரிக்கும் என்பதை நியூட்டன் அறிந்திருக்கவில்லை. நிறை, முடுக்கம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலன் நேரத்தைப் பொறுத்து உந்தம் மாறும் வீதத்திற்கு எப்போதும் கணிதவியலாகச் சரிசமமாக இருக்க வேண்டுமென்று அவர் நினைத்தார். நவீன சார்பியல் பொறியியல்படிவிசையின் மூல வரையறை (சமன் 3-7) சரியானதாகும்;

$F = Ma$ என்ற அமைப்பு சாதாரணத் திசைவேகங்களுக்கு ஒரு மிகத் துல்லியமான தோராயமாகும். முது விசையியலைப் பற்றிய நமது ஆய்வை $F=Ma$ என்ற தோராய அமைப்பையே தொடர்ந்து பயன்படுத்துவோம். இயல் 11 வரை சார்பியல் விசையியலைப் பற்றிய ஆய்வு தள்ளிவைக்கப்படுகிறது. எனினும் முதுவிசையியலைப் பற்றிய இந்த இயலில் நிறை, விசை ஆகியவற்றிற்கான துல்லியமான வரையறைகளை (சமன் 3-5, 3-7)க் கொடுப்பதில் வெற்றிபெற்றுள்ளோம் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. அவ் வரையறைகள் முதுவிசையியலிலும் சார்பியல் விசையியலிலும் ஏற்புடையன.

விசையின் அலகுகள் MKS முறையில் கி.கி – மீ/வி², CGS. முறையில் கி—செ.மீ/வி² ஆகும். இவ்விரு அலகுகளுக்கும் முறையே நியூட்டன் (Newton), டைன் (Dyne) என்ற சிறப்புப் பெயர்கள் அளிக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு நியூட்டன் என்பது ஒரு கி.கிராமுக்கு 1மீ/வி² முடுக்கத்தைக் கொடுக்கத் தேவையான விசையாகும். நியூட்டன், டைன்கள் ஆகியவைகளுக்கிடையேயான தொடர்பைப் பின்வருமாறு பெறலாம் :

$$1 \text{ நியூட்டன்} = \frac{1 \text{ கி.கி} \times 1\text{மீ}}{(1 \text{ வி})^2}$$

இப்போது 1 கி.கிராமுக்கு 10^3 கி என்றும் 1 மீ-க்கு 10^2 செ.மீ என்றும் பதிலீடு செய்வோம். இனி

$$1 \text{ நியூட்டன்} = \frac{(10^3 \text{ கி}) \times (10^2 \text{ செ.மீ})}{(1 \text{ வி})^2}$$

$$= 10^5 \frac{(1 \text{ கி}) \times (1 \text{ செ.மீ})}{(1 \text{ வி})^2}$$

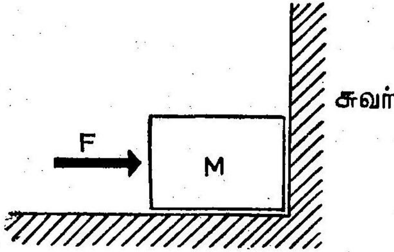
$$= 10^5 \text{ டைன்கள்}$$

எதிர்விசை (Reaction force)

கீழ்வரும் புதிரைக் கருதுவோம். M நிறையைக் கொண்ட ஒரு மரக்கட்டை கெட்டியான சுவர் ஒன்றை எதிர்த்து F என்ற விசையுடன் தள்ளப்படுகிறது. நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி முடுக்கம்

$$a = \frac{F}{M}$$

இதனல் கட்டை முடுக்கம் பெற்று இயங்கத் தொடங்க வேண்டும். எனப் பொருள்படுவது போல் தோன்றுகிறது. எனினும், கட்டை இயங்காது என்பதை அனுபவத்திலிருந்து நாமறிவோம். இதில் உள்ள தவறு என்ன ?



அசையாச் சுவரை எதிர்த்து கட்டை தள்ளப்படுதல்.

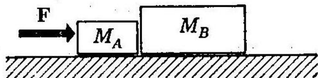
படம் 3-7

$F = Ma$ என்ற சமன்பாட்டில் பயன்படுத்தப்படும் F என்பது நிகர விசையாக இருக்கவேண்டும் என்று குறிப்பிடுவதன் மூலம் இந்தப் புதிரை விடுவிக்கலாம். F_1, F_2 என்ற இரு விசைகள் M என்ற ஒரே நிறையில் செயற்படுமாயின் $\mathbf{F}_{\text{நிகர}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$. படம் 3-7-ல் செயற்படுத்தப்படும் விசையான $\mathbf{F}$-ஐத் தவிர சுவர் கட்டைமீது செயற்படுத்தும் $\mathbf{F}'$ என்ற மற்றொரு விசையும் உள்ளது. எனவே, நிகரவிசை $\mathbf{F}_{\text{நிகர}} = \mathbf{F} + \mathbf{F}'$. நியூட்டனின் மூன்றாவது விதிப்படி $\mathbf{F}'$ என்பது சுவற்றின்மீது கட்டை செயற்படுத்தும் விசைக்குச் சமமாகவும் எதிராகவும் உள்ளது. அதாவது $\mathbf{F}' = -\mathbf{F}$. இவ்வாறாக $\mathbf{F}_{\text{நிகர}} = \mathbf{F} + (-\mathbf{F}) = 0$. இப்பொழுது நியூட்டனின் இரண்டாவது விதி

$$a = \frac{F_{\text{நிகர}}}{M} = 0$$

என்ற முடிவைத் தருகிறது.

மேலும் தொடர்ந்து செல்வோமாயின் நியூட்டனின் விதிகளின் மிகுந்த எளிமையையும் நேர்த்தியையும் உணரத்தொடங்குவோம். எனினும் நியூட்டனின் விதிகளின் சரியான பயன்படுத்துகை (Application) அடிக்கடி நுண்ணயம் (Subtle) வாய்ந்ததாக அமையும். பின்வரும் புதிர் கவனமற்ற சிந்தனையாளனுக்கு ஒரு எச்சரிக்கையாக அமைய வேண்டும்.



உராய்வற்ற பரப்பின்மீது இரு கட்டைகள் தள்ளப்படுதல்

படம் 3-8

படம் 3-8-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் உராய்வற்ற பரப்பு ஒன்றின்மீதுள்ள M_A, M_B என்ற இரு கட்டைகளைக் கருதுவோம். கட்டை A-ன் மீது F என்ற விசைச் செயற்படுத்தப்பட்டு அதன் வழியாக B-க்குக் கடத்தப்படுகிறது. நியூட்டனின் மூன்றாவது

விதிப்படி கட்டை B சமமான எதிர்விசை $(-F)$ ஒன்றை A-ன் மீது செயற்படுத்தவேண்டும். இவ்வாருக A-ன்மீது செயற்படும் நிகர விசையானது செயற்படுத்தப்படும் விசை F, A-ன் மீது B செயற்படுத்தும் எதிர்விசை–F ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகை யாகும்.

இவ்வாருக, $F_{\text{நிகர}} = F + (-F) = 0$ எனவே

$$a = \frac{F_{\text{நிகர}}}{M} = 0$$

இதன் முடிவு என்னவெனில் கட்டை A, அதன்மீது எவ்வளவு பெரிய விசையைச் செயற்படுத்தினுலும் ஒருபோதும் நகராது என்பதாகும்.

மேற்கூறப்பட்ட புதிர் ஒரு பிழையைக் கொண்டுள்ளது. அதாவது, விசை F, கட்டை A-ன் வழியாகக் கடத்தப்படுகிறது ; இவ்வாருக கட்டை B-ன் மீதும் செயற்படுத்தப்படுகிறது என்னும் ஊகமாகும். இவ்வாறு இருக்கவேண்டும் என்பதற்கு நியூட்டன் விதிகளில் சான்று எதுவுமில்லை. மாருக, B-ன் மீதும் A செயற் படுத்தும் விசையின் மதிப்பை F' என்று கருதிக் கொள்வோம். எனவே, B-ன்மீது செயற்படும் நிகர விசை $= F'$, A-ன்மீது செயற் படும் நிகரவிசை $= F - F'$ ஆகும். A, B ஆகியவற்றிற்கு நியூட்ட னின் இரண்டாவது விதியைப் பொருத்துவோமாயின் முறையே

$$F - F' = M_A a$$

$$F' = M_A a$$

மேற்கண்ட சமன்பாடுகளைக் கூட்டுவோமாயின்

$$F' = (M_A + M_B)a \text{ அல்லது } a = \frac{F}{M_A + M_B}$$

இம் முடிவு, செயற்படுத்தப்படும் விசை F-ஐக் கட்டைகளின் மொத்த நிறையால் வகுக்கக் கிடைப்பதே என்பதை நோக்குக.

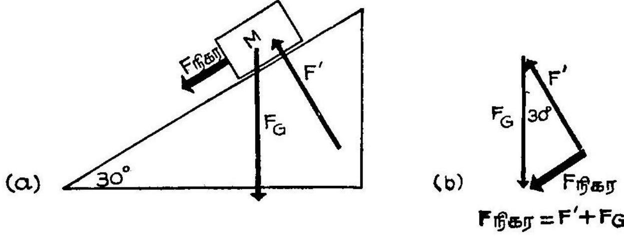
இந்த இயலின் எஞ்சிய மூன்று பிரிவுகளும் நியூட்டன் விதி களின் மூன்று பயன்முறைகளுக்கு ஒதுக்கப்பட்டுள்ளன. அப் பயன் முறைகள் விசையியலில் கணக்குகளைச் செய்வதற்கு நியூட்டன் விதிகள் எவ்வாறு பயன்படுத்தப்படுகின்றன என்ப தைப் பற்றிய சில கருத்துக்களைத் தரும்.

3-4 சாய்தளம்

புவியீர்ப்பைக் கட்டுபடுத்துவது எவ்வாறு

தானே விழும் எல்லா பொருட்களும் ஒரே முடுக்கத்தைக் கொண்டுள்ளன என்று சோதனை வாயிலாக அறிகிறோம்.

நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி புவிப்பரப்புக்கு அருகி லுள்ள. M நிறையைக் கொண்ட எப்பொருளின் மீதும் செயற் படும் புவியீர்ப்பு விசை $F_G = Mg$; $g = 9.8$ மீ/வி²



படம் 3-9

சாய்தளத்தின் மீது கீழ்நோக்கிச் சரியும் கட்டை. M-ன் மீது செயற்படும் விசைகள்.

படம் 3-9-ல் காட்டியுள்ளவாறு 30° கோணத்தில் சாய்ந் துள்ள உராய்வற்ற தளம் ஒன்றின் மீதுள்ள M என்ற நிறையை எடுத்துக்கொள்வோம். அது தளத்தில் கீழ்நோக்கி சரியும்போது அதன் முடுக்கம் என்னவாயிருக்கும் ?

இங்கு M-ன் மீது சாய்தளம் செயற்படுத்தும் விசையான F′-ன் மதிப்பானது $F_{நிகர}$ சாய்தளத்திற்கு இணையாக இருக்கும் வகை யில் அமையவேண்டும். மேலும், சாய்தள பரப்பு உராய்வற்ற தெனக் கருதப்பட்டிருப்பதால் F′ தளத்திற்கு இணையான ஆக்கக் கூறைப் பெற்றிருக்கக் கூடாது. எனவே, F′ தளத்திற்கு நேர் குத்தாக இருக்கவேண்டுமென்பதைக் காண்கிறோம். $F_{நிகர}$, F′ ஈர்ப்புவிசை A_G ஆகிய மூன்று வெக்டர்களும் படம் 3-9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. $F_{நிகர}$-ஐப் பெறுவதற்கு F,′ F_G ஆகியவை சாய்தளத்திற்கும் கிடைதளத்திற்கும் ஒன்றுக்கொன்று நேர் குத்தாக அமைவதால் F′, F_G ஆகியவற்றிற்கிடையேயுள்ள கோணம் 30° ஆகும். 30°—60° செங்கோண முக்கோணமொன் றில் கர்ணம் சிறிய பக்கத்தைப்போல் இரு மடங்காகும் ; இவ்வாறாக,

$$\frac{F_{நிகர}}{F_G} = \frac{1}{2}$$

$$F_{நிகர} = \frac{1}{2} F_G = \frac{1}{2} Mg$$

$$a = \frac{F_{நிகர}}{M} = \frac{0.5\ Mg}{M} = 0.5g = 4.9 \text{மீ/வி}^2$$

சாய்தளத்தின் கோணம் θ எனின்

$$F_{நிகர} = F_G \sin\theta$$

என எளிதில் நிறுவலாம். சமன்பாட்டில்

$$\sin \theta = \frac{\text{சாய்தளத்தின் உயரம்}}{\text{சாய்தளத்தின் வழியே தொலைவு}}$$

கலிலியோ இதே கணக்கீட்டைச் செய்தார். அவர், புவியீர்ப்பு விசையால் ஏற்படும் முடுக்கத்தை ஒரு தெரிந்த அளவு குறைப்ப தற்கு ஒரு சாய்தளத்தைப் பயன்படுத்தினர்.

3-5 அட்வுட் எந்திரம் (Atwood's machine)

புவியீர்ப்பைக் கட்டுப்படுத்த மற்றொரு வழி

அட்வுட் எந்திரம், படம் 3-10-ல் காட்டியுள்ளவாறு ஒரு கப்பியின்மீது இடப்பட்ட ஒரு மெல்லிய கயிற்றால் இணைக்கப்பட்ட M_1, M_2 என்ற இரு நிறைகளைக் கொண்டுள்ளது. கயிற்றின் நிறை உண்மையில் சுழியாயின் அதன்மீது செயற்படும் நிகரவிசையும் சுழியாக வேண்டும்; அவ்வாறில்லையாயின் அது வரம்பிலா முடுக்கத்தைப் பெறும். வேறு விதமாகக் கூறுவோமாயின் ஒரு கயிறு ஒரு முனை யில் T என்ற விசையுடன் இழுக்கப்படுமாயின் மறுமுனையும் அதே விசை T-உடன் இழுக்கப்பட வேண்டும். படம் 3–10-ல் இரு நிறைகளின் மீதும் கயிறு மேல் நோக்கி செயற்படுத்தும் விசை, T எனக் கொள்வோம். M_1-ன் மீது நிகர விசை

படம் 3-10
அட்வுட் எந்திரம்

$$M_1 g - T = M_1 a_1 \tag{3-8}$$

M_2 மீது நிகர விசை

$$M_2 g - T = M_2 a_2$$

கயிறு, நிலையான நீளமுடையதாதலால் $a_1 = -a_2$, மேற்கண்ட சமன்பாடு

$$M_2 g - T = M_2 - a_1 \text{ என்றாகிறது.}$$

அல்லது $T = M_2 g + M_2 a_1$

இப்போது T-க்கான இத்தொடர்பைச் சமன் 3-8-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$M_1 g - (M_2 g + M_2 a_1) = M_1 a_1$$

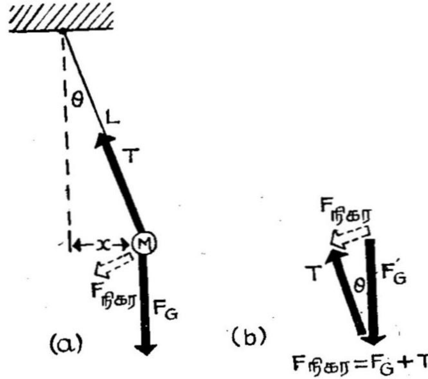
எனவே,
$$a_1 = \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2} g.$$

நிறை வேறுபாட்டைப் பொருத்தமான அளவுக்குச் சிறியதாக்கு வதன்மூலம் முடுக்கத்தைத் தேவையான அளவுக்குக் குறைக்கலாம் என்பதை நாம் காண்கிறோம். எனினும் $(M_1 - M_2)$ மிகவும் சிறியதாக்கப்படின் கயிறு, கப்பி ஆகியவற்றின் நிறைகளைச் சுழி யெனக் கொள்ள முடியாது.

3-6 ஊசலும் சீரிசை இயக்கமும் (Simple Harmonic motion)

வழக்கவகை இயக்கம்

இலகு ஊசல் என்பது L நீளமுள்ள ஒரு தொங்கிக் கொண் டிருக்கும் M நிறையையுடைய ஒரு சிறிய குண்டு என வரையறுக்கப் படுகிறது. இலகு ஊசலின் இயக்கத்தைப் பற்றிப் பேசப்படும் போது இடப்பெயர்ச்சி, x, L-ஐவிட எப்போதும் மிகவும் குறை வாக இருக்கிறது எனக் கொள்ளப்படுகிறது. இப்பொழுது நாம் படம் 3-11-ன் உதவியால் M-ன் முடுக்கத்தைக் கணக்கிடுவோம்.



படம் 3-11

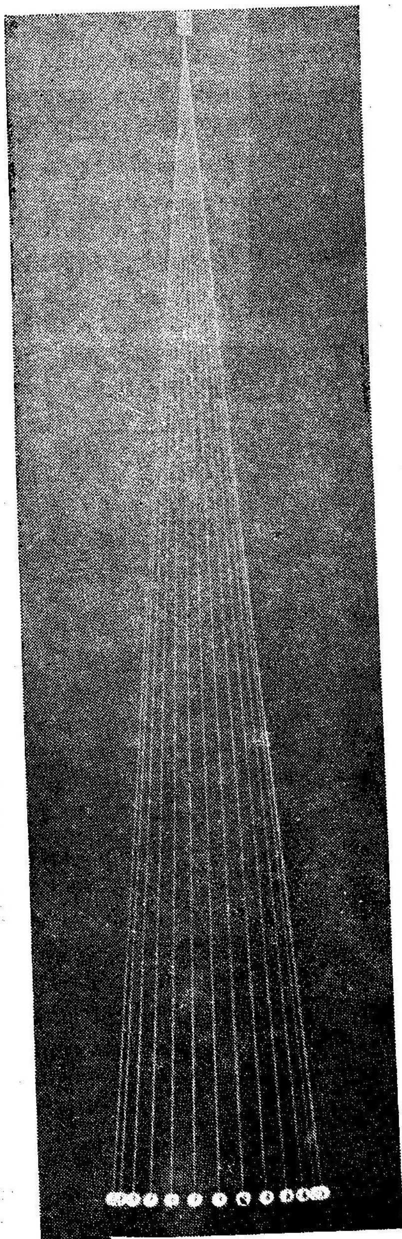
L நீளமுள்ள ஓர் இலகு ஊசல்

படம் 3-11-b-ல் $\mathbf{F}_G$, $\mathbf{T}$ ஆகிய இரு விசை வெக்டர்களும் $F_{நிகர}$-ஐத் தருமாறு பல்கோண விதிப்படி கூட்டப்படுகின்றன. இந்த வெக்டர் முக்கோணத்தின் பக்கங்கள் படம் 3-11a-ல் உள்ள முக்கோணத் தின் ஒத்த பக்கங்களுக்கு இணையாக இருக்கின்றன; எனவே, இரு முக்கோணங்களும் வடிவொத்த முக்கோணங்களாகும். இவ்வாறாக

$$\frac{F_{நிகர}}{F_G} = \frac{x}{L} \quad (\theta\text{-ன் சிறிய மதிப்பிற்கு}) \qquad (3\text{-}9)$$

இப்பொழுது $F_{நிகர}$—க்கு Ma-ஐயும் F_G-க்கு Mg-ஐயும் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\frac{Ma}{Mg} = \frac{x}{L}$$



படம் 3-12

இலகு ஊசல் ஒன்றின் அலையியக்கத்தின் ஸ்ட்ரோப் நிழற்படம் (strobe photograph).

அல்லது $a = \left(\frac{g}{L}\right)x.$

இது, முடுக்கமானது எண்மதிப்பில் மாறும் இயக்கத்திற்கான நமது முதல் எடுத்துக்காட்டாகும். இந்த எடுத்துக்காட்டில் முடுக்கமானது இடப்பெயர்ச்சி x-உடன் மிக எளிய முறையில் தொடர்பு கொண்டுள்ளது கவனிக்கத்தக்கது. அது x-க்கு நேர் விகிதத்திலிருப்பதோடு எப்பொழுதும் x-க்கு எதிர்த் திசையிலேயே நோக்குகிறது. இவ்வகை இயக்கம் சீரிசை இயக்கம் (சீ.இ-SHM) என வரையறுக்கப்படுகிறது. சீ.இ-க்கான பொது நிபந்தனை யாவது, முடுக்கத்திற்கும் இடப்பெயர்ச்சிக்கும் உள்ள தகவு ஒரு நிலையான மாறிலி, K ஆகும்;

$$\frac{a}{x} = K$$

என்பது சீரிசை இயக்கத்திற்கான நிபந்தனையாகும். வழக்கிலுள்ள இயக்கங்களுள் பல இந்த நிபந்தனைக்குள்ளாகின்றன. காட்டாக, நீட்டப்பட்ட ஒரு வில்லின் விசை இடப்பெயர்ச்சி x-க்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது. விற்களின் பண்பின் மீதானஇந்தச்சோதனைக் காட்சிப் பதிவு ஹுக்விதி (Hook's law) என அழைக்கப்படுகிறது. இவ்வாருக ஒரு வில்லின் முனையில் இணைக்கப்பட்ட ஒரு நிறையின் இயக்கமும் சீரிசை இயக்கமாக இருக்கவேண்டும். இழுத்துவிடப் பட்ட வயலின் கம்பியின் இயக்கம், ஊது இசைக்கருவி (organ pipe) யிலுள்ள சிறு அளவுக் காற்றின் இயக்கம், திடப்பொருளில் அணுவின் அலைவு போன்ற சீ.இ-க்கான பல எடுத்துக்காட்டுகள் உள்ளன. இயற்கையில் நிகழும் பெரும்பான்மையான இயக்கங்கள் சீ.இ-மாக இருப்பதற்கு ஒரு நல்ல காரணம் உண்டு. ஒரு குறிப் பிட்ட விசையானது தொலைவைப் பொறுத்து எவ்வளவு சிக்கலான முறையில் மாறியபோதிலும் அவ்விசையானது தொலைவின் ஒத்தி யல்பான சார்பலன் (Smooth function) என்று சொல்லப்படும் சார்பலனுக இருக்குமாயின், மிகச் சிறிய இடப்பெயர்ச்சிகளுக்கு, விசையில் ஏற்படும் மாறுதலானது இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர்விகிதத் திலிருக்கவேண்டும். இவ்வாருக, அநேகமாக எந்தவொரு பொரு ளின்-அதன் சமநிலையிலிருந்து உள்ள இடப்பெயர்ச்சியும் சீ.இ-க் கான நிபந்தனைக்கு உட்படுகிறது; எனவே, அப்பொருள் சீ-இல், முன்னும் பின்னும் அலையும்.

ஊசல் குண்டின் பெரும இடப்பெயர்ச்சி x_0 எனக் கொள் வோம். இந் நிலையில் மீட்புவிசை (restoring force) பெருமமாகும்; மேலும், ஊசல் குண்டு $x = 0$ புள்ளி வழியாக பின்னுக்கு இழுக்கப் பட்டு (உராய்வைப் புறக்கணிப்போமாயின்) $x = -x_0$-க்குக் கடந்து செல்லுகிறது. பின்னர் இந் நிகழ்ச்சி மீண்டும் மீண்டும்

நிகழ்கிறது. ஊசல் குண்டு $x = x_0$-லிருந்து $x = -x_0$-க்கும் திரும்பவும் $x = x_0$-க்கும் இயங்குவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் ஒரு முழு அலைவு நேரம் T என அழைக்கப்படுகிறது. T-ன் மதிப்பு a/x விகிதத்தினால் மட்டும் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. எல்லா வகை சீரிசை இயக்கங்களுக்கும்

$$\frac{a}{x} = \frac{4\pi^2}{T^2}$$

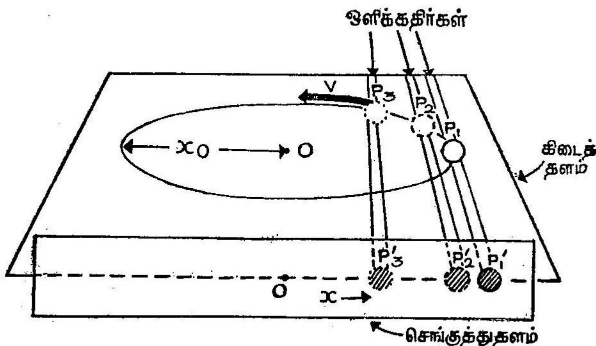
என்று பின்வரும் பகுதியில் நிறுவப்படும். இவ்வாறாக, ஒரு இலகு ஊசலுக்கு

$$\frac{g}{L} = \frac{4\pi^2}{T^2}$$

அல்லது $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

இலகு ஊசலின் அலைவு நேரம் குண்டின் நிறையைச் சார்பற்றிருக்கிறது என்பதையும் இடப்பெயர்ச்சி x_0-ஐயும் அது எவ்வளவு பெரியதாயினும் - சார்பற்றிருக்கிறது என்பதையும் நோக்குக. சீரிசை இயக்கத்தில் அலைவு நேரமானது இடப்பெயர்ச்சியின் அளவைப் பொறுத்ததல்ல என்னும் உண்மையைப் பொறியியல் கடிகாரங்கள் பயன்படுத்துகின்றன.

சுட்டு வட்டம் (reference circle): படம் 3-13, v என்ற திசை வேகத்துடனும் சீரான வட்ட இயக்கத்தைக் கொண்டிருக்கும் ஒரு குண்டின் நிழலைக் காட்டுகிறது. படம் 3-13-ல் திரையில் விழும் நிழலின் இயக்கம் சீரிசை இயக்கமாகும் என நிறுவலாம். அதாவது



படம் 3-13

சுட்டு வட்டம் (reference circle). செங்குத்து தளத்தில் குண்டின் எறிவு (projection). ஊசல் குண்டினைப் போன்ற அதே இயக்கத்தைப் பெற்றிருக்கும்

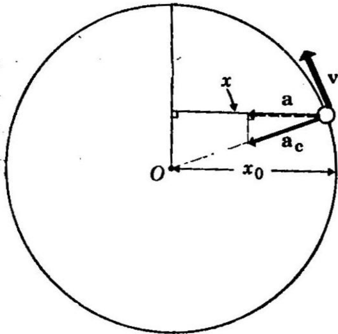
x-ன் எல்லா மதிப்புகளுக்கும் விகிதம், a/x, ஒரு நிலையான மாறிலி என்று நிறுவலாம். நிழல் வட்டத்தின் பக்கவாட்டு தோற்றமாதலால் நிழலின் இயக்கம் ஒரு நேர்கோட்டில் (x அச்சில்) x_0 என்ற பெரும இடப் பெயர்ச்சியைக் கொண்ட முன்பின் இயக்கமாகும். நிழலின் முடுக்கம் a, குண்டின் மையநோக்கு முடுக்கம் a_c-ன் x ஆக்கக் கூறாகும். படம் 3-13-ல் உள்ள வட்டத்தின் உச்சித் தோற்றத்தைக் காட்டும் படம் 3-14-ஐப் பயன்படுத்தி a-ன் மதிப்பை நாம் இப்பொழுது கணக்கிடுவோம். வடிவொத்த முக்கோணங்களின்படி

$$\frac{a}{x} = \frac{a_c}{x_0}$$

$$a_c = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot x_0 \text{ (சமன் 2-15) ஆதலால்}$$

$$\frac{a}{x} = \frac{\frac{4\pi^2}{T^2} x_0}{x_0}$$

அல்லது $$\frac{a}{x} = \frac{4\pi^2}{T^2}$$



சுட்டு வட்டத்தின் உச்சித் தோற்றம். வெக்டர் a, குண்டின் முடுக்கமான a_c-ன் x-அச்சின் மீதான எறிவாகும்.

படம் 3-14

இவ்வாறாக, நிழலின் முடுக்கத்தை இடப்பெயர்ச்சியால் வகுக்கக் கிடைப்பது எப்போதும் மாறிலி என்றும் அதன் மதிப்பு $4\pi^2/T^2$ T என்பது அலைவு நேரம்—என்றும் நிறுவுகிறோம். இது எல்லா வகை சீரிசை இயக்கங்களுக்கும் பொருந்தும். விகிதம் a/x எப்போதும் $4\pi^2/T^2$-க்குச் சமமாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு

புவியின் மையம் வழியாக அமெரிக்காவிலிருந்து ஆஸ்திரேலியாவுக்கு ஒரு துளை செய்யப்படுகிறது. காற்று எதிப்பைப் புறக்

கணிப்போமாயின் அமெரிக்காவில் துளையில் இடப்பட்ட ஒரு கல் ஆஸ்திரேலியாவை அடைய எவ்வளவு நேரம் எடுத்துக் கொள்ளும்? புவிமையத்திலிருந்து குண்டின் தொலைவு, r, புவியின் ஆரம் $R = 4000$ மைல் எனில் குண்டின் மீது செயற்படும் புவியீர்ப்பு விசை $F_G = Mg\,(r/R)$ ஆகும்.

நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி

$$Ma = Mg\frac{r}{R}$$

இவ்வாறாக $\frac{a}{r} = \frac{g}{R}$

என்பது முடுக்கத்திற்கும் இடம்பெயர்ச்சிக்கும் உள்ள விகிதமாகும். இவ்விகிதம், கல்லின் நிலையைச் சார்பற்று அமைந்து சீரிசை இயக்கத்திற்கான நிபந்தனையை நிறைவேற்றுகிறது என்பதை நாம் காண்கிறோம். எனவே, முடுக்கத்திற்கும் இடப்பெயர்ச்சிக்கும் உள்ள விகிதத்தின் (g/R) மதிப்பு $4\pi^2/T^2$ ஆக இருக்க வேண்டும், அல்லது

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{g}{R}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$$

$$T = 5.1 \times 10^3 \text{ விநாடி}$$

$$T = 86 \text{ நிமிடங்கள்.}$$

ஆஸ்திரேலியாவை அடைவதற்கான நேரம் ஒரு முழு அலைவு நேரத்தில் பாதி அல்லது 42.5 நிமிடங்கள் ஆகும்.

கணக்குகள்

1. நியூட்டனின் மூன்றாவது விதியின் இருவிசைகளும் எப்போதாவது ஒரே பொருளில் செயற்பட முடியுமா?

2. நீவிர் கற்பனை நயமிக்க (idealised) பனிக்கட்டிக் குளத்தினைப் போன்ற சிறிதும் உராய்வற்ற பரப்பின் நடுவில் உட்கார்ந்திருப்பதாகக் கொள்க. அத்தகைய இக்கட்டு நிலையிலிருந்து வெளியேறுவதற்கு ஒரு முறையைக் கூறுக.

3. மிதிவண்டி ஒன்றின் மீதுள்ள ஒரு சிறுவனை M என்ற நிறையைக் கொண்ட ஒரு அமைப்பாகக் கருதுக. M-ஐ முடுக்கக் கூடிய புறவிசை என்ன? M-ஐ நிறுத்தக்கூடிய புறவிசை என்ன? (மிதிகட்டைமீது செயற்படுத்தப்படும் தள்ளல் சிறுவன், மிதிவண்டி ஆகியவை அடங்கிய அமைப்புக்குப் புறவிசையன்று).

4. சமதளத்தில் பறக்கும் ஒரு விமானத்தை முடுக்கக் கூடிய புறவிசை என்ன ?

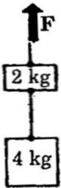
5, இழுவை எந்திரம் ஒன்று சங்கிலியால் பிணைக்கப்பட்ட ஒரு மரக்கட்டையை மணிக்கு 5 மீட்டர் மாருத வேகத்துடனும் 1000 நியூட்டன்கள் விசையுடனும் இழுக்கிறது. கட்டையின் மீது புவியீர்ப்பு விசை $F_G = 2000$ நியூட்டன்களாகும். நியூட்டனின் முதல் விதிப்படி கட்டையின் மீது செயற்படும் நிகர விசை என்ன ?

6. பின்வரும் விளக்கத்திலுள்ள பிழை என்ன ? ஒரு இழுவை எந்திரம் ஏர் ஒன்றை F என்ற விசையுடன் இழுக்கிறது. நியூட்டனின் மூன்ருவது விதிப்படி ஏரின் மீது தரை செயற்படுத்தும் எதிர்விசை $-F$. இவ்விரு விசைகளின் கூட்டுத் தொகை சுழியாதலால் ஏர் நகர முடியாது.

7. M என்ற நிறையின் மீது F என்ற விசை t_0 நேரத்திற்குச் செயற்படுகிறது. M-ன் உந்தத்தில் ஏற்படும் மாறுதல் என்ன ?

8. படத்தில் காட்டியுள்ளபடி இரு கட்டைகள் ஒரு கயிற்றிஞல் ஒன்ருகக் கட்டப்பட்டுள்ளன. உச்சிக் கட்டையுடன் மற்ருெரு கயிறு கட்டப்பட்டுள்ளது.

கணக்கு 8



(a) புவிப்பரப்பிற்கு சற்று மேலே இருகட்டைகளேயும் ஓய்வில் தொங்க விட உச்சிக் கயிற்றில் எவ்வளவு விசைச் செயற்படுத்த வேண்டும் ?

(b) இரு கட்டைகளுக்கும் 1.2 மீ/வி² மேல் நோக்கிய முடுக்கம் கொடுப்பதற்கு உச்சிக் கயிற்றில் எவ்வளவு விசை செயற்படுத்த வேண்டும் ? (புவியீர்ப்பைப் புறக்கணிக்க வேண்டாம்).

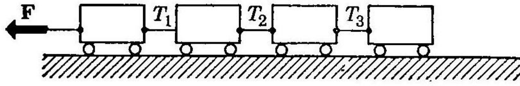
(c). (b)-ல் உள்ள சூழ்நிலேகளில் கீழ்க்கயிற்றில் செயற்படும் விசை என்ன ?

9. 50 கி. நிறை ஒன்று உராய்வற்ற கிடைப் பரப்பின் மீது தொடக்கத்தில் ஓய்வில் இருக்கிறது. நிறையின் மீது மாருத விசை F ஒன்று செயற்படுத்தப்படுகிறது; நிறை அதன் தொடக்க நிலேயிலிருந்து 25 செ.மீ. இடம் பெயர்க்கப்பட்டபோது அதன் திசைவேகம் 40 செ.மீ./வி-ஆகக் காணப்பட்டது. F-ன் மதிப்பு என்ன ? 25 செ.மீ. தொலேவைக் கடப்பதற்கு நிறை எடுத்துக் கொண்ட நேரம் என்ன?

10. 2 கி.கி நிறையைக் கொண்ட ஒரு மரக்கட்டை வழு வழுப்பான கிடைப்பரப்பு ஒன்றில் இருக்கிறது. 5 கி. நிறையை யும் 500 செ.மீ./வி திசை வேகத்தையும் கொண்ட ஒரு ரவை கட்டையைத் தாக்கி அதில் பதிந்து விடுகிறது. மோதலுக்குப் பின் கட்டை, ரவை ஆகியவற்றின் இறுதித் திசைவேகம் என்ன?

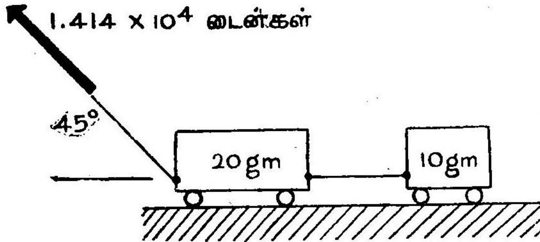
11, ஹைடிரஜன் அணு என்பதை ஒரு புரோட்டானைச் சுற்றி 10^{-8}செ.மீ ஆரமுள்ள ஒரு வட்டத்தில் இயங்கும் 9×10^{-28} கிராம் நிறையுள்ள ஒரு எலெக்ட்ரான் எனக் கொள்க. ஈர்ப்பு விசை 10^{-2} டைன். எலெக்ட்ரானின் திசைவேகம் என்ன? எலெக்ட்ரான் ஒரு வினாடிக்கு எத்தனை சுழற்சிகளை மேற்கொள்ளும்?

கணக்கு 12



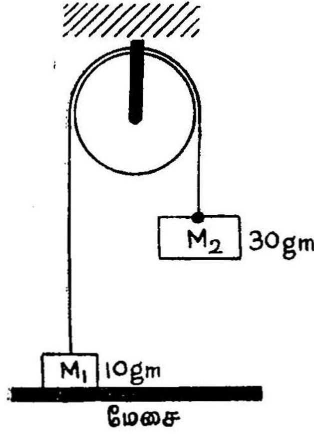
12. நான்கு பெட்டிகளையுடைய ஒரு விளையாட்டு ரயில் ஒன்றை ஒரு குழந்தை F என்ற விசையுடன் இழுக்கிறது. ஒவ் வொரு பெட்டியின் நிறை M. பெட்டிகளை இணைத்திருக்கும் கயிறு களின் இழுவிசைகள் (அல்லது விசைகள்) T_1, T_2, T_3-ன் மதிப்புக் களை F, M, ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் கணக்கிடுக. F, M ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் முடுக்கத்தையும் கணக்கிடுக. உராய்வைப் புறக்கணிக்க,

கணக்கு 13



13. ஒரு குழந்தை ஒரு உராய்வற்ற விளையாட்டு வண்டியை படத்தில் காட்டியுள்ளபடி 45° கோணத்தில் 1.414×10^4 டைன் கள் விசையுடன் இழுக்கிறது. 20 கி. நிறையுள்ள பெட்டியின் முடுக்கம் என்ன? வண்டிகளுக்கிடையேயுள்ள கயிற்றின் இழு விசை என்ன? குழந்தையால் இழுக்கப்படும் கயிற்றில் இழுவிசை என்ன? 20 கி. பெட்டியைத் தரை என்ன விசையுடன் தள்ளுகிறது?

கணக்கு 14



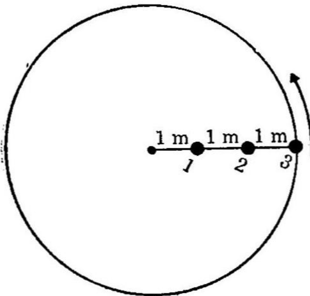
14. M_1, M_2 என்பவை உராய்வற்ற கப்பி ஒன்றின்மீது ஒரு கயிற்றின் இருமுனைகளிலும் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. M_1-ஐ மேசைமீது பிடித்து வைக்கப்பட்டுள்ளது. M_1-ஐ மேசை மீது பிடித்துவைக்கத் தேவையான விசை என்ன? கயிற்றில் எத்தனை டைன்கள் இழுவிசைச் செயற்படுகிறது? M_1 விடுவிக்கப்பட்டால் கயிற்றில் இழுவிசை எவ்வளவு இருக்கும்.

15. சரிமட்டமான உராய்வற்ற ஒரு கண்ணாடி தளத்தின் ஒரு முனையில் 500 கி நிறை ஒன்று அமைந்துள்ளது. இந்த முனை 2.5 செ.மீ உயரத்திற்குத் தூக்கப்பட்டால் நிறை மறுமுனையை அடையும்போது அதன் திசைவேகம் என்ன?

16. ஆடுகுதிரை மீதமர்ந்துள்ள ஒரு சிறுவன் சமநிலையிலிருந்து 2 அடி தொலைவு முன்னும் பின்னும் ஆடுகிறான். சிறுவனின் பெருமமுடுக்கம் 0.2 அடி/வி^{2}. முடுக்கம் இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர் விகிதத்திலிருப்பின் சிறுவனின் அலைவுநேரம் என்ன?

17. 10^6கி.கி நிறையும் 2.94×10^7 நியூட்டன் அமுக்கமும் (**Thrust**) கொண்ட ஒரு ஏவுகப்பல் செங்குத்தாக ஏவப்படுகிறது. அதன் முடுக்கம் என்ன? (குறிப்பு: ஏவுகப்பலின் மீதுள்ள நிகரவிசை உந்தத்திற்குச் சமமன்று.)

கணக்கு 18



18. 1 மீட்டர் நீளமுள்ள கயிறுகளால் ஒன்றாகக் கட்டப்பட்ட 3 பந்துகளை ஒரு சிறுவன் கிடைத்தளத்தில் (புவியீர்ப்பைப் புறக்கணிக்க) சுழற்றுகிறான். ஒவ்வொரு பந்தும் 100 கி நிறையுடையது. வெளிப்பந்து 6 மீ/வி வேகத்துடன் இயங்கினால் மூன்று கயிறுகளிலும் இழுவிசைகள் என்ன? அவன் மேலும் வேகமாகச் சுழற்றத் தொடங்கினால்-எல்லாக் கயிறுகளும் ஒரே மாதிரி இருப்பதாக கொள்வோமாயின்-எந்தக் கயிறு முதலில் அறுபடும்?

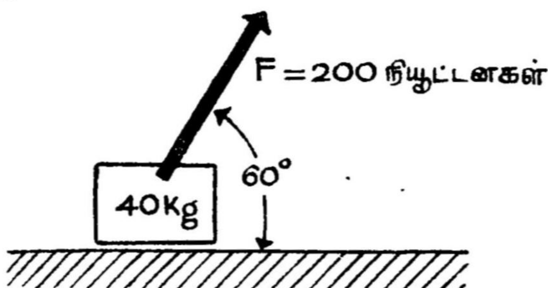
19. படம் 3.13-ல் உள்ள சுட்டு வட்டத்தில் உள்ள குண்டு v_0 திசை வேகத்தைக் கொண்டுள்ளதாகக் கருதுக. பின்வரும் அளவுகளை v_0, x_0 ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் கூறுக.

(a) நிழலின் பெரும முடுக்கம்

(b) நிழலின் அலைவு நேரம்

(c) அடுக்கம் அல்லதுஒரு விநாடியில் அலைவுகளின் எண்ணிக்கை.

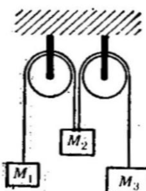
கணக்கு 20



20. 4 கி.கி நிறையுள்ள ஒரு கட்டை, உராய்வற்ற பரப்பு ஒன்றின் மீது புறவிசை F, புவியீர்ப்பு விசை ஆகியவற்றின் செயல் விளைவில் படத்தில் காட்டியபடி உள்ளது. கட்டையின் மீதுள்ள நிகரவிசையின் எண்மதிப்பு, திசை ஆகியவை யாவை? F-ன்மதிப்பு 200 நியூட்டன்களுக்குப் பதில் 800 நியூட்டன்களாயின் நிகரவிசையின் எண்மதிப்பு என்ன?

21. படம் 3.1-ல் $\mathbf{v}_A$, $\mathbf{v}_A'$, $\mathbf{v}_B'$ ஆகியவற்றை ஒரு அளவுகோலால் அளவிடுக. $\mathbf{v}_A'$, $\mathbf{v}_B'$ ஆகிய வெக்டர்களைக் கூட்டி விடையை $\mathbf{v}_A$- உடன் ஒப்பிடுக.

கணக்கு 22



22, M_1, M_2, M_3, g ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் M-ன் முடுக்கத்திற்கான வாய்பாட்டைப் பெறுக. இந்த ''இரட்டை'' அட்வுட் எந்திரத்தில் உராய்வற்ற, நிறையற்ற கப்பிகளைக்கொள்க.

23. ஹைடிரஜன் மூலக்கூறில் இரு புரோட்டான்களும் இந் நிலையிலிருந்து மேலும் நெருக்கமாகவோ அதிகத் தொலைவிலோ

தள்ளப்படின் இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ள மீட்புவிசை உருவாகிறது. புரோட்டான்கள் ஒவ்வொன்றும் 10^{-9} செ.மீ நகர்த்தப்படின் அவை ஒவ்வொன்றின் மீதுமுள்ள விசை 1.1×10^{-3} டைன் ஆகுமளவிற்கு அவ்விசை உள்ளது. ஹைடிரஜன் மூலக்கூறின் அதிர்வு அடுக்கம் (vibrational frequency) என்ன? புரோட்டானின் நிறை 1.67×10^{-24} கிராம்.



ஈர்ப்பியல்
(Gravitation)

இயல் 4

4. ஈர்ப்பியல்

4-1 ஈர்ப்பியல் நிறை (Gravitational mass)

ஈர்ப்பின் மூலம்

எல்லா நிறைகளும் ஒரே முடுக்கத்துடன் விழவேண்டுமென்பதற்கான காரணம் நியூட்டனின் விதிகளில் கூறப்படவில்லை. இத்தகைய கருத்துக்கு இதுவரை நாம் கொண்டுள்ள ஒரே ஆதாரம் கலிலியோவின் சோதனைகளும் அதைத் தொடர்ந்து செய்யப்பட்ட மற்ற சோதனைகளுமேயாகும். புவிக்கும் ஒரு நிறை, M-க்கும் இடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசை F_G என்றால் நியூட்டனின் விதிகள் நமக்குச் சொல்வதெல்லாம்

$$a = \frac{F_G}{M} \tag{4-1}$$

என்பதேயாகும். F_G என்பது என்ன என்று நமக்குச் சொல்வதற்கு ஒரு ஈர்ப்பியல் கொள்கை நமக்குத் தேவைப்படுகிறது. ஈர்ப்பியல் நிறை என்றழைக்கப்படும் ஒரு புதிய ராசியான M_G-ஐ நாம் வரையறுப்போம். ஈர்ப்புவிசையானது M_G-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்குமாறு ஈர்ப்பியல் நிறை வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் M_G-ன் மதிப்பைச் சோதனை மூலம் மதிப்பிட வேண்டும்.

$$F_G = M_G\, g$$

என்னுமாறு M_G-க்கான அலகின் அளவை வரையறுப்போம்; g என்பது 9.8 மீ/வி². F_G-ன் மதிப்பைச் சமன் 4-1-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$a = \frac{M_G}{M}\, g$$

எல்லாப் பொருட்களுக்கும் $M_G = M$ (ஈர்ப்பியல் நிறையானது நிலைம நிறைக்கு—inertial mass—ச் சமம்) எனின் எல்லாப் பொருட்களும் ஒரே முடுக்கத் (g) துடன் விழும் என்பதை நாம் காண்கிறோம். வெவ்வேறு பொருட்களுக்கு M_G/M விகிதத்தை எவ்வாறு

ஒப்பிடுவது என்பதைப் பற்றிய தோராயமான கருத்தைப் பெறுவதற்கு இலகு ஊசலின் அலைவு நேரத்திற்கான கோவையைப் பெறும் முறையை மீண்டும் நோக்குவோம். சமன் 3.9-ன் படி

$$\frac{F_{நிகர}}{F_G} = \frac{x}{L}$$

$F_{நிகர} = Ma$, $F_G = M_G g$ ஆதலால்

$$\frac{Ma}{M_G g} = \frac{x}{L}$$

$$\frac{a}{x} = \frac{M_G g}{ML}$$

சீரிசை இயக்கத்தில் இம்மாறிலி $4\pi^2/T^2$ ஆக இருக்கவேண்டும். இவ்வாறாக

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \times \sqrt{\frac{M}{M_G}}$$

M/M_G-ன் மதிப்பு வெவ்வேறு பொருட்களுக்கு மாறுமாயின் ஊசல் குண்டின் மூலப்பொருள் மாறும்பொழுது அலைவு நேரம் மாற வேண்டும். அண்மையில் பல்வேறு தனிமங்களுக்கு M/M_G-ன் விகிதத்தின் மதிப்பு மிகத் துல்லியமாக மதிப்பிடப்பட்டிருக்கிறது. அது 10^{10}-ல் ஒரு பங்கு சோதனையியல் பிழைக்குள் எல்லாப் பொருட்களுக்கும் ஒரேயளவாயிருப்பது காணப்பட்டது. இக் காரணங்களுக்காக ஈர்ப்பியல் நிறையும் நிலைம நிறையும் ஒன்றே எனக் கருதப்படுகிறது. ஐன்ஸ்டீனின் சார்பியல் பொதுக் கொள்கை இந்த அடிப்படைக் கொள்கையைத் தொடக்கமாகக் கொண்டுள்ளது. ஈர்ப்பியல் நிறை, நிலைமநிறை ஆகியவற்றின் சமத்துவம் இணைமாற்றுத் தத்துவம் (principle of equivalence) என அழைக்கப்படுகிறது; இதனை இயல் 11-ல் விரிவாகக் காணலாம்.

4—2 எடையும் எடையிலாமையும்

"காலப்போக்கில், எடையிலாமை அளிக்கும் மகிழ்ச்சியினால் அதனைப் பலரும் விரும்புவர்." W.R. யங் (young).

ஒரு பொருளின் எடை என்பது அப்பொருள் தரையை எதிர்த்துச் செயற்படுத்தும் விசை என வரையறுக்கப்படுகிறது. இவ்வாறாக, எடையானது நியூட்டன்கள் அல்லது டைன்களில் அளவிடப்படுகிறது. பௌதிகத்தில் எடையை கிராம்கள் கணக்கில் குறிப்பிடுவதில்லை ;

ஏனெனில் கிராம்கள் என்பது நிறையேயன்றி விசையல்ல.* M என்ற நிறையின் எடை $F_{ω}$ என இருக்கட்டும். M என்ற நிறை யானது புவிப்பரப்பின்மீது ஓய்வில் இருப்பின் புவியின் சுழற்சியால் ஏற்படும் சிறுவிளைவைப் புறக்கணித்தால் (பார்க்க பக்கம் 48) $F_{நிகர}$ சுழியாக வேண்டும். $F_{நிகர}$ என்பது F_G, புவியின் எதிர் விசை ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையாகும். நியூட்டனின் மூன் ருவது விதிப்படி இந்த எதிர்விசை எப்போதும்—$F_{ω}$-க்குச் சம மாகும். இவ்வாறுக

$$F_{நிகர} = F_G - F_{ω} = 0$$

அல்லது $$F_{ω} = F_G = Mg$$

என்பது புவிப்பரப்பின்மீது ஓய்வில் இருக்கும் M என்ற நிறையின் எடையாகும்.

இப்பொழுது நாம் 'a' என்ற முடுக்கத்துடன் கீழ்நோக்கி இயங்கும் மின் மாடத்தில் (elevator) உள்ள M என்ற நிறையின் எடையைக் காண்போம். (இங்கு கீழ்நோக்கிய திசை நேர்க்குறி யுடையதாகக் கொள்ளப்படுகிறது). இனி

$$F_{நிகர} = F_G - F_{ω} = Ma$$

$$F_{ω} = F_G - Ma$$

$$F_{ω} = M(g - a)$$

மின் மாடம் கீழ்நோக்கி இயங்கும்போது ஒரு மனிதனின் எடை குறைக்கப்படுகிறது என்பதை நாம் காண்கிறோம். இந்நிலை எடை யிலா நிலை என அழைக்கப்படுகிறது. இந்நிலையில் மின்மாடப் பிரயாணிகள் படம் 4-1-ல் உள்ள விஞ்ஞானிகளைப் போலவோ அல்லது இவ் வியல் தொடக்கத்திலுள்ள மாதைப்போலவோ காணப்படுவார்கள். மின்மாடத்தில் உள்ள எல்லாப் பொருட் களும் அது தரையைத் தொடும்வரை காற்றில் சார்பற்று மிதக் கும். இயல் 2-ல் நாம் பார்த்ததைப் போல் எல்லாத் துணைக் கோள்களும் ஏவு பொருட்களும் தானே விழுந்து கொண்டிருக்கின் றன. இவ்வாறுக, ஒரு ஏவுகணைப் பயணி ஏவுகணை மோட்டார்கள் நின்றவுடனே அல்லது நிறுத்தப்பட்டவுடனே எடையிலா நிலையை அடைய வேண்டும். அத்தகைய பயணி ஒரு குவளையிலுள்ள நீரைப் பருகுவது எளிதாயிராது. ஏனெனில் குவளையை விட்டு வெளி

*இந் நிலையில் ஆங்கிலமுறை அலகுகள் குழப்பம் தரவல்லவையாக அமை கின்றன. பவுண்டு என அழைக்கப்படும் விசையின் ஆங்கில அலகு பின் வருமாறு வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு பவுண்டு விசை என்பது ஒரு பவுண்டு நிறைக்கு 32அடி/வி^{2} முடுக்கத்தைக் கொடுப்பது. பவுண்டு என்ற ஒரே சொல் முற்றிலும் வேறுபட்ட இரு அளவுகளுக்குப் பயன்படுத்தப்படுகிறது குழப்பத்தைத் தவிர்ப்பதற்காக இந்நூலில் விசையின் ஆங்கில அலகை ஒரு போதும் பயன்படுத்த மாட்டோம்.

வந்த நீர் நடுக்காற்றில் ஒரு குமிழியைப்போல் பறக்கும். சாதாரண விமானங்களும் கூட ஏவுகணையின் பாதையை யொத்த பரவளேயப் பாதையில் அதன் திசை வேகத்தின் கிடைத்தள ஆக்கக் கூறுக்குச் சமமான திசைவேகத்துடன் செல்வதன் மூலம் எடையிலா நிலையை உருவாக்க முடியும். அத்தகைய திட்டமிட்ட இயக்கத்தின்போது காற்றெதிர்ப்பின் விளைவுகளை நீக்குவதற்காக விமான எந்திரத்



படம் 4-1

இப்படத்தில் உள்ள விமானம் $a = 32'/$வி^{2} என்ற கீழ்நோக்கிய முடுக்கத்தைப் பெற்றுள்ளது. பயணிகள் எடையிலாத் தன்மையின் உவகையை உணருகிறார்கள். (U. S. விமானப்படை அன்பளிப்பு)

திறனின் ஒரு பகுதி பயன்படுத்தப்படவேண்டும். எடையிலா நிலையின் அனுபவம் லைஃப் பத்திரிகையின் பதிப்பாசிரியர் W.R. யங் அவர்களின் பின்வரும் சொற்களால் விவரிக்கப்படுகிறது.

சுழியளவு g-ல் தங்குதடையின்றி மிதத்தல் உடல், ஆத்மா ஆகிய இரண்டிற்கும் ஒருங்கே மகிழ்ச்சியை அளிப்பதாகத் தோன்றுகிறது. அத்தகைய புதிய உலகை நான் கண்டவுடன் விமானத்திலுள்ள மற்றவர்களைப் பார்த்துப் பொருளின்றி இளித்ததை நினைவு கூறுகிறேன். எது 'மேலே' இருந்தது எது 'கீழே' இருந்தது என்பதைப் பற்றிக் கவலைப் படுவதோ அல்லது நினைவிலிருத்திக் கொள்வதோ கடினமாக இருந்தது. மூன்றாவது முறை விமானம் இத்தகைய திட்டமிட்ட இயக்கத்தில் செலுத்தப் பட்டபோது அறையின் முழு நீளத்திற்கும் நேராக மிதந்து செல்லும் அளவுக்கு என்னுடைய கால்களால் உந்த முடிந்தது. மறுமுனையை நான் மிதந்து சென்றடைந்தபோது மேஜர் பிரௌன் என்னைக் காற்றில் தடுத்து நிறுத்தாவிடில் நான் விமானமோட்டியின் அறைக்குள் பறந்திருப்பேன். அவர் விமானத்தில் ஒரு கருவியை உறுதியாகப் பற்றியிருந்தாரெனினும் என்னை நிறுத்துவதற்கு ஓரளவு விசையைச் செயற்படுத்த வேண்டியிருந்தது. ஏனெனில் எடையிலாமை உந்தந்தின் விளைவுகளை ஒதுக்கித் தள்ளுவதில்லை. அவரது கைகளிலிருந்து துள்ளிச் சென்ற நான் விமானத்தின் தரையிலும் பின்னர் கூரையிலும் இலேசாக மோதித் துள்ளியெழுந்தேன்.

மின்மாடம் ஒன்றின் கீழ்நோக்கிய முடுக்கம் g-ஐவிட அதிகமாக இருப்பின் அதில் பயணம் செய்யும் நாம் படம் 4-2-ல் காட்டியுள்ளது போன்ற ஒரு நிலையை அடைவோம். இப்பவும் ஓரளவுக்கு உண்மைக்குப் புறம்பானதாக உள்ளது. பயணிகள் கூரையில் அவர்களின் தலையால் நிற்பதைவிடக் கால்களால் நிற்பது நன்று என உணர்வார்கள்.

மாதிரிக் கணக்கு

மகிழ்ச்சியான விமானப் பயணத்திற்கு பயணிகள் அவர்களின் இயல்பான எடையைவிட இரு மடங்கிற்கு ($F_ω = 2Mg$) மேல் உணரக்கூடாது எனக் கருத்திற்கொள்க. இந்நிலை அனுமதிக்கும் பெருமக் கிடைத்தள முடுக்கம் என்ன ?

a என்பது பெருமக் கிடைத்தள முடுக்கம் என இருக்கட்டும். பயணியின் மீது எப்போதும் இருக்கை செயற்படுத்தும் விசை ($-\mathbf{F}_ω$) ஆகும். இனி,

$$\mathbf{F}_{நிகர} = \mathbf{F}_G - \mathbf{F}_ω = M\mathbf{a}$$

படம் 4–2

g-ஐவிட வேகமாக கீழ்நோக்கிய முடுக்கம் பெறும் மின் மாடத்தைப் பற்றிய கேலிச் சித்திரம். (the saturday evening post-லிருந்து தனிப்பட்ட அனுமதி பெற்று அச்சிடப்பட்டது. பதிப்புரிமை 1959 கர்ட்டிஸ் வெளியீட்டுச் சங்கம்(the curtis publishing company)

அல்லது $\mathbf{F}_G = M\mathbf{a} + \mathbf{F}_\omega$

$\mathbf{F}_\omega$, $\mathbf{F}_G$ ஆகியவற்றின் எண்மதிப்புகள் முறையே $2Mg$, Mg ஆகும். $\mathbf{F}_G$-ன் திசை கீழ்நோக்கியும் $M\mathbf{a}$-ன் திசை கிடைத்தளத்திலும் உள்ளன.

படம் 4-3-ல் Ma, $\mathbf{F}_\omega$ ஆகிய இரு வெக்டர்களும் $\mathbf{F}_G$-ஐத் தரு மாறு கூட்டப்படுகின்றன. பித்தகோரஸ் தேற்றப்படி

$$Ma = \sqrt{(2Mg)^2 - (Mg)^2}$$
$$a = \sqrt{3}g.$$

படம்4-3

பயணிகளின் எடைகள் இருமடங்காகுமாறு கிடைத்தள முடுக்கத்துடன் செல்லும் விமானம்.

4—3 கெப்ளர் விதிகள் (Kepler's laws)

இயற்கை எளிதாயிருக்க வேண்டும்.

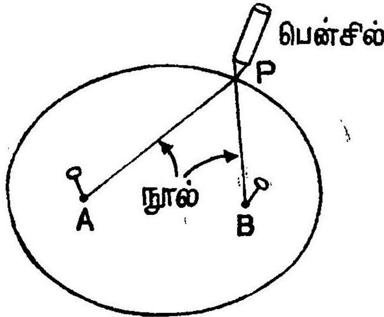
1600-ல் கோள்கள் புவியையன்றி சூரியனைச் சுற்றி இயங்கு கின்றன என்று சொல்வது முரண்பட்ட சமயக் கருத்து எனக் கருதப்பட்டது. உண்மையைக் கூறுமிடத்து 1600-ல் கோப்பர் நிக்கஸின் கதிரவன் மைய அமைப்புக் கருத்தைத் துணிந்து ஆதரித் தவரும் பொதுவாக முரண்பட்ட சமயக் கருத்தைக் கொண்டவரு மான கியார்டானோ புருனோ (Giordano Bruno) என்பவர் சமயச் சட்ட மன்றத்தாரால் (Inquisition) தண்டிக்கப்பட்டு எரிப்புத் தண்டத்தில் (stake) எரிக்கப்பட்டார். பேரறிஞரான கலிலியோ கூட, போப் அவரது சிறந்த நண்பராக இருந்தபோதிலும் சமயச் சட்ட மன்றத்தால் விசாரிக்கப்பட்டு, அவரது நம்பிக்கைகளை யாவரும் அறியும் வண்ணம் கைவிடுமாறு செய்யப்பட்டார்.

அரிஸ்டாட்டில் (Aristotle) தாலமி (Ptolemy) ஆகியவர்களின் கருத்துக்களைப் புனிதமானவையாகக் கருதிய அக்காலத்திய கொள்கைகள் கோள்களின் பாதைகளை வட்டங்களுக்குள் அமைந்த வட்டங்களின் சிக்கல் நிறைந்த இயக்கங்களாகக் கற்பித்தன. செவ் வாயின் பாதையை விவரிப்பதற்கு வெவ்வேறு அளவுகளிலுள்ள ஏறத்தாழ 12 வட்டங்கள் தேவைப்பட்டன. செவ்வாயும், புவி யும் சூரியனைச் சுற்றி இயங்க வேண்டும் என்று நிறுவுவதே ஜோஹென்னஸ் கெப்ளரின் நோக்கமாகும். செவ்வாயின் நிலை யைப் பற்றிய அளவிறந்த அளவீடுகள் எல்லாவற்றிலும் துல்லிய மாகப் பொருந்தக் கூடிய எளிய வடிவியல் பாதை ஒன்றைக் காண் பதே அவரது நோக்கமாகும். பல ஆண்டுகள் கடின உழைப்புக்குப் பிறகு எல்லாக் கோள்களைப் பற்றிய முக்கிய குறிப்புக்களுடனும் மிகவும் துல்லியமாகப் பொருத்தமாயிருக்கக் கூடிய மூன்று எளிய விதிகளை அவரால் கண்டுபிடிக்க முடிந்தது. கெப்ளர் விதிகள் ஒரு கோளைச் சுற்றி இயங்கும் துணைக் கோள்களுக்கும் பொருந்தும்.

கெப்ளர் முதல் விதி

ஒவ்வொரு கோளும் சூரியனை ஒரு குவியத்தில் கொண்ட நீள்வட்ட பாதை ஒன்றில் இயங்குகிறது.

ஒரு நீள்வட்டம் பல வடிவியல் பண்புகளைப் பெற்றுள்ளது. அவைகளுள் ஒன்றை படம் 4-4-ல் காட்டியுள்ளவாறு ஒரு பென்சில் இரு குண்டூசிகள் ஒரு நூல் ஆகியவற்றைப் பயன்படுத்தி ஒரு நீள் வட்டத்தை வரையப் பயன்படுத்தலாம். கயிற்றின் இருமுனைகள் A, B என்ற புள்ளிகளில் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. பின்னர் P என்ற புள்ளியிலுள்ள ஒரு பென்சில் ஒரு நீள் வட்டத்தை வரை யும். A, B என்ற புள்ளிகள் குவியங்கள் என அழைக்கப்படுகின்



இரு குண்டூசிகள், நூல், பென்சில் ஆகியவற்றைக் கொண்டு ஒரு நீள் வட்டத்தை வரைதல். *A*, *B* என்ற புள்ளிகள் நீள் வட்டத்தின் குவியல் களாகும்:

படம்4-4

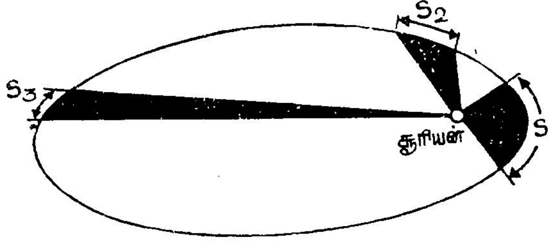
றன. ஒரு வளைகோட்டின் மீதுள்ள எந்தவொரு ஒரு புள்ளியிலிருந்தும் இந் நிலையான புள்ளிகளுக்கு (குவியங்கள்) உள்ள தொலைவுகளின் கூட்டுத்தொகை மாறிலியானால் அந்த வளைகோட்டை நீள்வட்டம் என வரையறுப்பது வழக்கம். நீள்வட்டத்தின் மற்றொரு வடிவியல் பண்பு, P என்ற புள்ளியில் நீள்வட்டத்திற்கு வரையப்பட்ட தொடுகோட்டுடன் *AP*, *BP* என்ற கோடுகள் சமமான கோணங்களை அமைப்பதாகும். எனவே *A*-யிலிருந்து புறப்படும் எந்தவொரு ஒளி அல்லது ஒலிக்கதிரும் *B*-க்குப் பிரதிபலிக்கப்படும். இதுவே சில விஞ்ஞான பொருட்காட்சிகளிலும், சில பொருட்காட்சி சாலைகளிலும் காணப்படும் மெல்லொலிக் கூடங்களின் (whispering gallery) தத்துவமாகும். ஒரு மெல்லொலி மாடம் நீள் வட்டவடிவில் அமைந்த சுவர்களை கொண்டிருக்கும். ஒருவர் *A* என்ற புள்ளியிலும் மற்றொருவர் 50 அடி (எனக் கொள்வோம்) தொலைவிலுள்ள *B* என்ற புள்ளியிலும் இருப்பார்கள். அவ்விருவரும் குவியங்களில் இருப்பார்களாயின் அவர்கள் ஒருவருக்கொருவர் அறையிலுள்ள மற்றவர்கள் யாரும் கேளாதபடி மிக மெல்லிய குரலில் பேசிக்கொள்ள முடியும்.

கெப்ளரின் இரண்டாவது விதி

சூரியனையும் கோளையும் இணைக்கும் கோடு சமகால அளவுகளில் சமப் பரப்பளவுகளை அலகிடுகிறது.

படம் 4-5-ல் நிழலிடப்பட்ட பரப்பளவுகள் யாவும் சமமாகும். கெப்ளரின் இரண்டாவது விதிப்படி ஒரு கோளானது s_1, s_2, s_3 ஆகிய தொலைவுகளைக் கடப்பதற்கு அதே கால அளவைக் கொள்ள வேண்டும். இவ்வாறாக, புவியானது சூரியனுக்கு மிக அண்மையில் இருக்கும்போது (ஜனவரி மாதத்தின் முதற் பகுதியில்) அது பெருமத் திசை வேகத்தைக் கொண்டுள்ளது. கெப்ளரின் இரண்

டாவது விதிப்படி புவியின் வட பகுதியில் பனிக்காலமானது புவி சூரியனிடமிருந்து மிகத் தொலைவில் இருக்கும் ஜூலை மாதத்தில் நிகழும் தென்பகுதிப் பனிக்காலத்தை விடக் குறுகியதாக இருக்கும்.



படம்4-5

கீழ்க்காணும் நீள்வட்டத்தில் நிழலிடப்பட்ட பரப்பளவுகள் சமமாகும். கெப்ளரின் இரண்டாவது விதிப்படி கோளானது S_1, S_2, S_3 ஆகிய தொலைவுகளைச் சமகால அளவுகளில் கடக்கும்.

கெப்ளரின் மூன்றாவது விதி

சூரியனிலிருந்து கோள்களின் தொலைவுகளின் மும்மடிகள் அவற்றின் சுழற்சி நேரங்களின் இருமடிகளுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கின்றன.

$$\frac{R_1^3}{R_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2} \qquad (4.2)$$

R_1, T_1 என்பதை கோள்-1-ன் தொலைவும் சுழற்சி நேரமுமாகும்; R_2, T_2 என்பவை கோள்-2-ன் தொலைவும் சுழற்சி நேரமுமாகும். R என்ற தொலைவை நீள்வட்டத்தின் பேரச்சில் பாதியாகக் கொள்ள வேண்டும் எனக் கெப்ளர் குறிப்பிட்டார்.

கெப்ளர், அவரது மூன்று விதிகளையும் பெற்ற தருக்கரீதியான இம்முறைக்கு உய்த்துணர்தல் (induction) எனப்படுகிறது. அம்மூன்று விதிகளையும் நியூட்டன் எவ்வாறு பெற்றார் என்பதை 4-5 பிரிவில் நாம் காண்போம். ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய அவரது பொது விதியிலிருந்து கெப்ளர் விதிகளை நியூட்டன் பெற முடிந்தது. இந்த வகையில் கெப்ளரின் விதிகளுக்கேற்ப கோள்கள் ஏன் இயங்குகின்றன என்று அவர் விளக்கினார்.

மாதிரிக் கணக்கு

புவியின் சுழற்சிக் காலத்தைப் போன்ற அதே சுழற்சிக் காலத்தைப் புவியின் துணைக் கோள் ஒன்று பெற்றிருக்க வேண்டுமாயின் அதன் உயரம் என்னவாயிருக்க வேண்டும்? புவி மையத்திலிருந்து 4000 மைல் தொலைவிலுள்ள ஸ்புட்னிக் I போன்ற ஒரு

துணைக் கோள் $T = 5000$வி சுழற்சி நேரத்தைக் கொண்டுள்ளது என்பதை நாமறிவோம்.

இக் கணக்கினைச் செய்ய நாம் கெப்ளர் மூன்ருவது விதியினைப் பயன்படுத்துவோம். மேலும், புவிப்பரப்பின்மீது தவழ்ந்து செல்லும் புவியின் ஒரு துணைக்கோள் ‘ கோள் I ’ என இருக்கட்டும். இனி $R_1 = 4000$ மைல், $T_1 = 5 \times 10^3$ வி, $T_2 =$ ஒரு நாள் அல்லது $8 \cdot 6 \times 10^4$வி என்னும்போது R_2-ன் மதிப்பை நாம் காண வேண்டும்.

சமன் 4.2-ஐ R_2-க்குத் தீர்வு காண்போமாயின்

$$R_2^3 = \frac{T_2^2}{T_1^2} R_1^3$$

$$R_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2} \; R_1$$

$$R_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{86}{5}\right)} \times 4000 \text{ மைல்}$$

$$R_2 = 26{,}600 \text{ மைல்}$$

புவியின் துணைக்கோள் ஒன்று நிலநடுக்கோட்டிற்கு சுமார் 26,600 மைல் உயரத்தில், புவியின் சுழற்சியின் அதே திசையில் இயங்குமாயின் எப்பொழுதும் ஒரே புள்ளிக்கு மேலேயே மிதக்கும் என்பதை நாம் காண்கிறேம்.

மேற்கூறப்பட்ட கணக்கில் $T = 27.3$ நாட்கள் சுழற்சி நேரம் கொண்ட ஒரு துணைக்கோளின் உயரத்தைக் கணக்கிடும்படி கேட்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். அதே முறை 24,000 மைல் என்ற விடையைத் தரும். இது, உலகின் ‘முதல்’ துணைக் கோளின் உயரமாகும். அது நிலா (Moon) என அழைக்கப் படுகிறது.

4-4 நியூட்டனின் ஈர்ப்பியல் பொது விதி

பொதுச் சார்பியல் கொள்கை (பழைய விதி)

நியூட்டனின் கருத்துப்படி ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய பொதுவிதிக்கு வழி வகுத்தது தரையை நோக்கி விழும் ஆப்பிள் பழமாகும். இந் நிகழ்ச்சி, புவியை நோக்கி ஆப்பிளை விழச்செய்யும் விசையானது நிலாவைப் புவியை நோக்கி ‘விழ’ச் செய்யும் அதே விசைதாஞ என அவரைச் சிந்திக்கத் தூண்டியது. நிலாவின் தொலைவை, எனவே அதன் திசைவேகத்தை அறிந்து நிலாவிற்கான v^2/R-ன் மதிப்பை நியூட்டன் கணக்கிட்டார். அது ஆப்பிளின் முடுக்கத்தில்

சுமார் 1/3600 மடங்கு இருந்ததைக் கண்டார். இது, புவி மையத்திலிருந்து ஆப்பிள், நிலா ஆகியவற்றின் தொலைவுகளின் விகிதத்தின் இருமடி என அவர் கண்டார். இவ்வுண்மை, ஈர்ப்பு விசையானது தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கக் கூடும் என்னும் எடுகோளை (postulate) நிறுவ நியூட்டனுக்கு வழி வகுத்தது. 4.1 பிரிவில் கூறப்பட்ட காரணங்களுக்காக விசையானது நிறைக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்க வேண்டும் என்பதையும் அவர் அறிந்திருந்தார். M_1, M_2 நிறைகளைக் கொண்ட இரு துகள்களுக்கிடையே உள்ள விசைக்கான, ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய நியூட்டனின் பொது விதிக்கான இறுதி வடிவம்

ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய நியூட்டனின் விதி $F = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$ (4-3)

ஆகும்; r என்பது துகள்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு ஆகும். G என்ற மாறிலி MKS முறையில் 6.67×10^{-11} நியூட்டன் மீ^{2}/கி.கி^{2} என்ற மதிப்பையும் CGS முறையில் $6 \cdot 67 \times 10^{-8}$ டைன் செ.மி.^{2}/கி.கி^{2} பெற்றுள்ளது. G-ன் மதிப்பு சோதனை மூலம் காணப்பட வேண்டும். புவியின் தெரிந்த பருமனைக் கொண்டும் அதன் அடர்த்தியை ஊகித்தும் புவியின் நிறையை ஊகித்து, G-ன் மதிப்பை நியூட்டன் கணக்கிட்டார். இம்முறையில் G-ன் மதிப்பை எவ்வாறு பெறலாம் என்பதைக் காட்ட சமன் 4-3-ஐ புவிப்பரப்பின் மீதுள்ள M என்ற நிறைக்குப் பயன் படுத்துவதாகக் கொள்வோம். இனி,

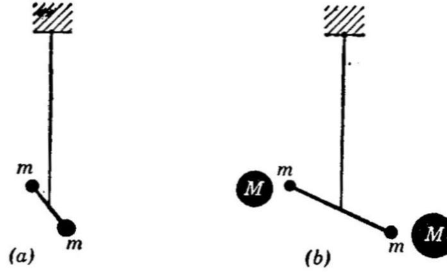
$$F_G = Mg = G \frac{M_e M}{R_e^2}$$

அல்லது $G = \frac{g_e R_e^2}{M_e}$; (4-4)

M_e என்பது புவியின் நிறை, R_e என்பது புவியின் ஆரம். M_e தெரிந்தால் G-ஐ மதிப்பிடலாம். என்பதை நாம் காண்கிறோம். மாறாக, இரு காரீயக் கோளங்களுக்கிடையே விசையின் நேரடி அளவீட்டிலிருந்து G-ஐ மதிப்பிட முடியுமாயின் சமன் 4-4-ன் உதவியால் M_e-ஐ மதிப்பிடலாம். G-ன் நேரடி மதிப்பீடு முதன் முதலில் ஹென்றி கேவண்டிஷ் என்பவரால் 1797-ல் படம் 4-6-ல் காட்டியுள்ளவாறு செய்யப்பட்டது. புவியானது இச் சோதனையுடன் எவ்விதத்திலும் தொடர்பு கொள்ளவில்லையாயினும் அவரது சோதனை புவியினை எடையிடுதல் என அழைக்கப்பட்டதன் காரணத்தை இப்போது நாம் விளங்கிக் கொள்கிறோம். உண்மையில் கேவண்டிஷ் சோதனையைப் புவிஈர்ப்புவிசை இல்லாமலிருக்கும் போது செல்வது எளிதானதாக இருக்கும்.

மாதிரி கணக்கு

ஒவ்வொன்றும் 45 கி.கி நிறையும் 20 செ.மீ விட்டமும் கொண்ட இரு காரீயக் கோளங்களுக்கிடையேயுள்ள பெரும ஈர்ப்பு



படம் 4-6.

கேவண்டிஷ் சோதனையின் தத்துவம். (a)-ல் ஒவ்வொன்றும் m நிறையையுடைய இரு சிறு காரீயக் கோளங்கள் குவார்ட்ஸ் இழையினால் தொங்கவிடப்பட்ட ஒரு கிடைமட்டத் தண்டினால் இணைக்கப் பட்டுள்ளன. (b)-ல் ஒவ்வொன்றும் M நிறையையுடைய இரு பெரிய காரீயக் கோளங்கள் அவற்றின் அருகே கொண்டு வரப்படுகின்றன. m, M ஆகியவற்றிற்கிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசை சிறிய கோளங்களை M-ஐ நோக்கி நகரச்செய்து குவார்ட்ஸ் இழையை முறுக்குகிறது. குவார்ட்ஸ் இழையை அதே அளவுக்கு முறுக்குவதற்குத் தேவையான விசை முன்அளவீடுகளிலிருந்து அறியப்படுகிறது.

விசை என்ன? இவ்விசையை புவியீர்ப்பு விசையுடன் ஒப்பு நோக்குக.

சமன் 4-3-ன்படி காரீயக் கோளங்களுக்கிடையேயான விசை

$$F = G\left(\frac{M}{R}\right)^2$$

$$F = 6.67 \times 10^{-11}\left(\frac{45}{0.2}\right)^2 \text{ நியூட்டன்கள்}$$

$$= 3.37 \times 10^{-6} \text{ நியூட்டன்கள்}$$

இந்த விசையானது பல உராய்வு விசைகளை விடச் சிறியதாகவே இருக்கிறது; எனவே, அதனைக் கேவண்டிஷ் சோதனை போன்ற மிகச் சிறந்த சோதனைகளாலேயே கண்டுணர முடியும். காரீயக் கோளங்களுள் ஒன்றின்மீது புவியீர்ப்பு விசை

$F_G = Mg = 45 \times 9.8$ நியூட்டன்கள் $= 440$ நியூட்டன்கள். இவ்விசை இரு கோளங்களுக்கிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசையை விட 100 மிலியன் மடங்கு பெரியதாகும்.

சமன் 4-4-ஐப் பெறுவதில் புவியானது அதன் முழுநிறை M_e-யும் அதன் மையத்தில் செறிந்துள்ளதைப்போல் செயற்படுகிறது என்ற தற்கோள் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இது அவ்வாறு இருக்கவேண்டுமென்பதற்கான காரணகாரியமான(a priori) ஆதாரங்கள் எதுவும் இல்லை. சமன் 4-3 இரு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள விசையை மட்டுமே தருகிறதே யொழிய இரு திண் கோளங்களுக்கிடையேயுள்ள விசையைத் தருவதில்லை என நியூட்டனே கூறியிருக்கிறார். சமன் 4-3-ஐப் புவிப்பரப்பின் மீதுள்ள M நிறையையுடைய ஒரு பொருளுக்குச் சரியாகப் பயன்படுத்த வேண்டுமாயின் புவியை எண்ணிலடங்கா தனித் துகள்களாகப் பிரிக்க வேண்டியிருக்கு மென்பதை நியூட்டன் உணர்ந்தார். புவியின் அத்தகைய துகள்களுள் ஒன்றின் நிறை M_i என இருக்கட்டும். இனி M-ன் மீது இப்புவித்துகளின் விசை

$$F_i = G\,\frac{M_i M}{r_i^2}$$

ஆகும். M-ன் மீது மொத்த விசையானது இந்தத் தனித் தனியான $\mathbf{F}_i$ என்ற விசைகளின் வெக்டர் கூட்டுத் தொகையாகும். இருபத்து மூன்றுவது வயதில் ஈர்ப்பியலைப்பற்றிய அவரது விதியைக் கண்ட நியூட்டனால் எல்லா $\mathbf{F}_i$-களையும் கூட்டுவது எவ்வாறு என்ற கணிதப் புதிரைத் தீர்க்க முடியவில்லை. இவ்வாறாகத் தொகை நுண்கணிதத்தை (integral calculus) அவர் உருவாக்க வேண்டியிருந்தது. முக்கியமாக இந்த ஒரு முட்டுக் கட்டையினாலேயே ஈர்ப்பியல் மற்றும் கோளியக்கத்தைப் பற்றிய அவரது கொள்கைகளை நியூட்டன் உலகுக்கு அறிவிக்காமலிருந்தார். இறுதியாக, ஒரு கோளமானது அதன் முழு நிறையும் அதன் மையத்தில் செறிந்துள்ளதைப் போன்று செயற்படுகிறது என்று பத்தொன்பது ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் நியூட்டனால் நிரூபிக்க முடிந்தது. பின்னர் கெப்ளர் விதிகளைப் பற்றிய அவரது பழைய வருவிப்புகளை (derivations) மீண்டும் ஆராய்ந்து பிரின்சிபியா (principia) என்னும் நூலில் அவரது முழுக் கொள்கையையும் எழுதினார். நியூட்டனுக்கு மிகவும் தொல்லை கொடுத்த இப் புதிருக்கு நுண் கணிதமுறையொழிந்த மற்றொரு எளிய முறையும் உள்ளது என்பது தற்செயலாகத் தெரியவந்துள்ளது. நுண் கணிதமுறையொழிந்த இம் முறை 7ஆம் இயலில் கொடுக்கப் பட்டுள்ளது.

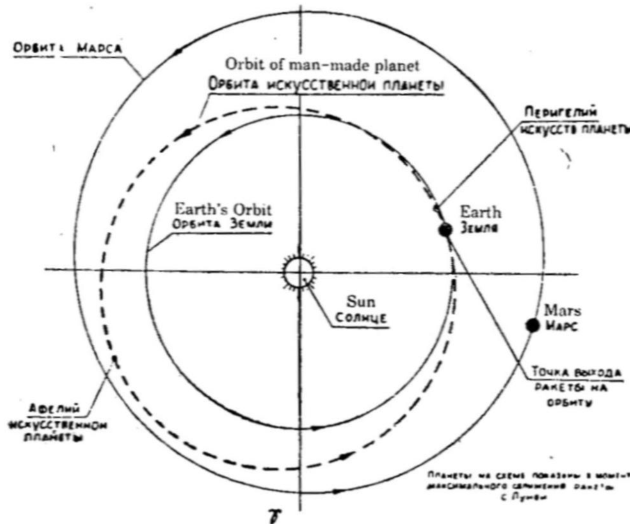
இதுவரை புவிப்பரப்பின்மீதுள்ள பொருட்களின் ஈர்ப்பு விசையையும் நிலாவின் இயக்கத்தையும் சமன் 4-3 எவ்வாறு விளக்குகிறது என்று கண்டோம். அடுத்து அதே சமன்பாடு எல்லா

கோள்களின் இயக்கங்களேயும் கூட எவ்வாறு விளக்குகிறது எனக் காண்போம்.

4-5 கெப்ளர் விதிகளேப் பெறுதல்

நியூட்டன் விசையியலின் இமயச் சாதனே

முதலில் கெப்ளரின் மூன்ருவது விதியின் சிறப்பு நேர்வினே—கதிரவனேச் சுற்றிய வட்டப்பாதைகளில் இயங்கும் கோள்களேப்—பற்றிக் காண்போம். உண்மையில் புளுட்டோவைத் தவிர மற்ற எல்லாக் கோள்களின் பாதைகளும் கதிரவனேப் பொது மையமாகக் கொண்ட வட்டங்களே மிகவும் ஒத்திருக்கின்றன. படம் 4-7-ல் புவி மற்றும் செவ்வாயின் பாதைகள் அளவுத்திட்டப்படி துல்லியமாக வரையப்பட்டுள்ளன. அவை வட்டங்களாகத் தோன்றுவதைப் பார்வையினுலேயே மதிப்பிடலாம்; ஆனுல் மனிதனின் முதல் செயற்கைக்கோளின் பாதை மேலும் நீள்வட்டமாகத் தோன்றுவதைக் காணலாம். நமது பிரச்சினேக்கு R_1 ஆரமுடைய வட்டப் பாதையைக் கொண்ட கோள் 1-ஐக் கருதுவோம். சமன் 4-3-ன் படி இக் கோளே அதன் பாதையின் இயக்கும் விசை



படம் 4-7

செவ்வாய் மற்றும் புவி ஆகியவற்றின் பாதைகளுடன் மனிதனின் முதல் செயற்கைக் கோளின் பாதை ஒப்பிடப்படுதல், செவ்வாய் மற்றும் புவியின் பாதைகள் ஏறத்தாழ வட்டங்களாகத் தோற்றமளிப்பினும் மூன்று பாதைகளும் நீள்வட்டங்களாகும்.

$$F_1 = G\frac{M_s M_1}{R_1^{\,2}};$$

M_s என்பது கதிரவனின் நிறை. இவ்விசையானது கோளை அதன் பாதையில் வைத்திருக்கும் மையநோக்கு விசை (Centripetal foroe) யாகும். மையநோக்கு முடுக்கத்திற்கான சமன் 2–15-ஐப் பயன் படுத்துவதன் மூலம்

$$F_1 = M_1\frac{4\pi^2}{T_1^{\,2}}R_1$$

என நாம் பெறுகிறோம்.

இவ்வாறாக,

$$\frac{4\pi^2}{T_1^{\,2}}R_1 = G\frac{M_s}{R_1'^2}$$

அல்லது $$\frac{R_1^{\,3}}{T_1^{\,2}} = \frac{GM_s}{4\pi^2} \qquad (4.5)$$

இவ்விதம் கோள் 1-ன் நிறையைப் பொருத்திருக்கவில்லை என்பதைக் கவனிக்கலாம். கதிரவனின்றும் R_2 தொலைவில் உள்ள கோள் 2-க்கு இதே கணக்கீடுகளைச் செய்யலாம். அவ்வாறே

$$\frac{R_2^{\,3}}{T_2^{\,2}} = \frac{GM_s}{4\pi^2} \qquad (4.6)$$

சமன் 4.5, 4.6 ஆகியவற்றின் இடது பக்கங்களைச் சமன் படுத்தினால்

$$\frac{R_1^{\,3}}{T_1^{\,2}} = \frac{R_2^{\,3}}{T_2^{\,2}} \text{ அல்லது } \frac{R_1^{\,3}}{R_2^{\,3}} = \frac{T_1^{\,2}}{T_2^{\,2}}$$

இதுவே கெப்ளர் விதியாகும். நீள்வட்டப் பாதைகளுக்கான மிகப் பொதுவான சமன்பாடுகளைப் பெறுதல் மேலும் சிக்கல் வாய்ந்ததால் அது இங்கு தரப்பட மாட்டாது.

மாதிரிக்கணக்கு

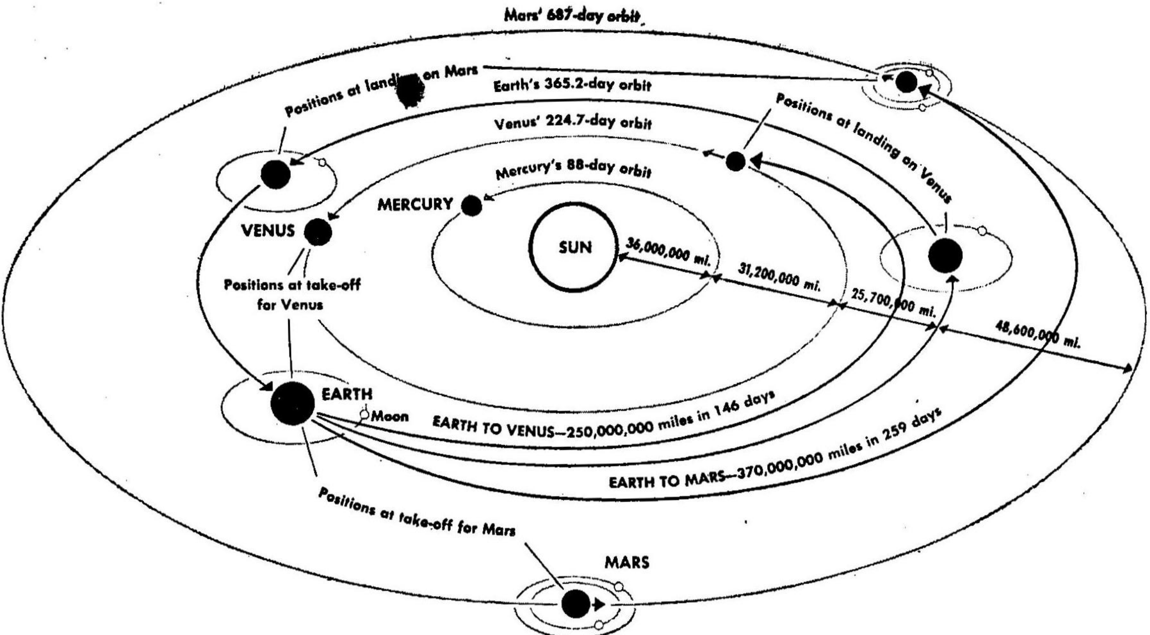
செவ்வாயானது சூரியனிடமிருந்து புவியைவிட 52% அதிகத் தொலைவில் உள்ளது. செவ்வாய் ஆண்டைக் கணக்கிடுக.

$$\frac{R\text{ செவ்வாய்}}{R\text{ புவி}} = 1.52 \text{ ஆதலால்}$$

$$\frac{T^2\text{ செவ்வாய்}}{T^2\text{ புவி}} = (1.52)^3$$

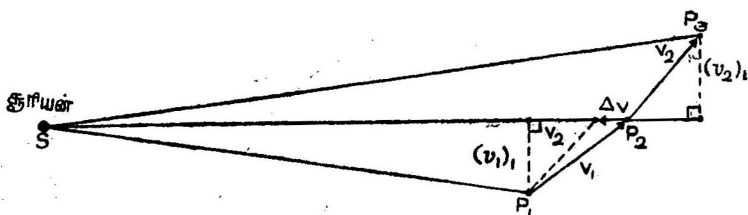
$$T\text{ செவ்வாய்} = \sqrt{3.5}\times T\text{ புவி}$$

$$T\text{ செவ்வாய்} = 1.87 \text{ ஆண்டுகள்},$$



படம் 4-8

செவ்வாய்க்கும் வெள்ளிக்குமான வான்வெளிப் பயணத்திற்கான திட்டமிடப்பட்ட பாதைகள். வான் வெளிக்கப்பலின் பாதையானது சூரியனை மையமாகக் கொண்ட நீள்வட்டப்பகுதியின் ஒரு பகுதியாக எப்போதும் இருப்பதைக் காணவும். (Time பத்திரிகையில் வரையப்பட்ட படத்தின் அடிப்படையில் வரையப்பட்டது.)



படம் 4-9.

P_1, P_2, P_3, என்ற புள்ளிகள் ஒரு கோளின் 1 வினாடிகால இடைவெளிகளில் அமைந்த அடுத்தடுத்த நிலைகள். முதல் வினாடியில் அலகிடப்பட்ட SP_1P_2 என்ற பரப்பளவு இரண்டாவது வினாடியில் அலகிடப்பட்ட SP_2P_3 என்ற பரப்பளவிற்குச் சமம் என நிறுவப் படுகிறது.

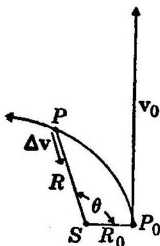
சமப் பரப்பளவுகள் விதியான கெப்ளரின் இரண்டாவது விதியைப் படம் 4-9-ன் உதவியால் பெறலாம். கோளின் பாதையில் P_1, P_2, P_3 என்ற அருகருகேயுள்ள மூன்று நிலைகளைக் கருதுக. P_1, P_2, P_3 என்பன ஒவ்வொன்றும் ஒரு வினாடி தொலைவில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இனி, P_1, P_2 ஆகியவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொலைவானது கோளின் திசைவேகம் v_1-ஐக் குறிக்கும்; P_2, P_3, என்பது அடுத்த வினாடியில் உள்ள திசைவேகம் 'v_2' ஆகும். நேர்குத்துத் திசையில் விசையின் ஆக்கக் கூறு சுழியாதலால் (விசையானது SP_2 வழியே சூரியனை நோக்கியுள்ளது) நியூட்டனின் முதலாவது இயக்கவியல் விதிப்படி அத்திசையில் திசைவேகத்தின் ஆக்கக்கூறு மாறாமல் இருக்க வேண்டும். எனவே, $(v_1)_1 = (v_2)_1$. முதலாவது வினாடியில் கோளினால் அலகிடப்பட்ட பரப்பளவு SP_1P_2 என்ற முக்கோணமாகும். அடுத்த வினாடியில் அலகிடப்பட்ட பரப்பளவு SP_2P_3. இவ்விரு முக்கோணங்களும் SP_2 என்ற ஒரே அடித்தளத்தையும் v_1 என்ற ஒரே உயரத்தையும் கொண்டிருப்பதால் அவை சமமான பரப்பளவுகளைக் கொண்டிருக்க வேண்டும். இம்முறையில் நாம் ஈர்ப்பியலுக்குரிய எதிர்விகித இருமடி விதியைப் பயன்படுத்தவில்லை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. செயலெதிர்ச் செயல் விசையானது செயலெதிர்ச் செயல்புரியும் இரு பொருட்களை இணைக்கும் கோட்டின் வழியே செயற்படுகிறது என்னும் கருத்தினையே இம்முறை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது. இவ்வாறாகக் கெப்ளரின் இரண்டாவது விதியானது அவரின் மற்ற இரண்டு விதிகளைவிட மிகவும் பொதுவானதாக அமைகிறது. சமப்பரப்பளவுகள் விதியானது எதிர்விகித இருமடி விதிகளல்லாத மற்ற வகை விதிகளுக்கும் பொருந்த வேண்டும்.

கெப்ளரின் மூன்று விதிகளுள் முதலாவது விதியைப் பெறுவதே மிகவும் கடினமாகும். வழக்கமான முறைச் சற்று நீளமாயிருப்பதோடு உயர்நிலைக் கணிதத்தையும் (பகுநிச் சமன்பாடுகள்) அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது. எனினும் கலிஃபோர்னியா தொழில் நுணுக்க விஞ்ஞானக் கழகத்தில் உள்ள கொள்கையியல் பௌதிகரான ரிச்சர்ட் ஃபைன்மன் (Richard Feynman) என்பவர் நுண்கணித முறையல்லாத மற்ருெ முறையை உருவாக்கியுள்ளார். இந் நூலில் அந்த முறையைப் பின்பற்றலாம். ஃபைன்மன் முறைச் சற்று நீளமானதால் அதனை இவ்வியலின் பின் இணைப்பாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

பின் இணைப்பு **கெப்ளரின் முதல் விதியைப் பெறுதல்**

இந்த வருவிப்பு இந் நூலிலுள்ள மற்றெந்த வருவிப்புக்களை விடச் சற்று சிக்கல் நிறைந்தது. இப் பின் இணைப்பை ஒரு விருப்பப் பகுதியாகவே கொள்ளவேண்டும். இந் நூலில் இனிவரும் எப் பகுதியும் இப் பின் இணைப்பை அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கவில்லை.

இந்த நிருபணத்தின் சுருக்கம் பின்வருமாறு: நியூட்டனின் எதிர் விகித இருமடி விதியைப் பயன்படுத்தி கோளினது திசைவேகத்தின் திசைக்கும் சூரியனிலிருந்து அளவிடப்பட்ட கோணநிலை (angu'ar position)க்கும் ஒரு எளிய தொடர்பைப் பெறுவோம். எனவே, திசை வேகத்தின் திசையானது எப்போதும் பாதைக்குத் தொடுக்கோட்டு நிலையில் இருப்பதால் பாதைக்கு வரையப்பட்ட தொடுகோட்டிற்கும் பாதையில் கோளின் நிலைக்குமிடையே தனிச் சிறப்புடைய ஒரு வடிவ கணிதத் தொடர்பைப் பெற முடியும். இறுதியாகச் சூரியனை ஒரு குவியத்தில் கொண்ட ஒரு குறிப்பிட்ட நீள்வட்டமும் தனிச் சிறப்புடைய அதே தொடர்பைக் கொண்டுள்ளது என்று நிறுவப்படும்.



கோள்பாதையின் ஒரு பகுதி. P என்ற புள்ளியில் அதன் கோண நிலை θ

படம் 4-10.

முதலில், கோளானது அதன் பாதையில் சூரியனுக்கு மிக அருகில் இருக்கும்போது அதனைக் கருதுவோம். படம் 4-10-ல் P_0 அந் நிலையைக் குறிக்கிறது; சூரியனிலிருந்து அதன் தொலைவு R_0; அதன் திசைவேகமான v_0, R_0-க்கு நேர்குத்தாக உள்ளது. பாதையில் உள்ள ஏதேனும் ஒரு புள்ளி, P-ல் திசைவேகமாறுபாடு Δv-ஆனது

$$F = M\frac{\Delta v}{\Delta t} = G\frac{M_s M}{R^2}$$

என்னும் விசையின் திசையில் இருக்கவேண்டும். அல்லது

$$\frac{1}{GM_s}\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1}{R^2} \qquad (4\text{-}7)$$

θ-ஐ ரேடியன்களில் அளவிடுவோமாயின் $R\Delta\theta/\Delta t$ என்பது படம் 4-9-ல் உள்ள v_1 ஆகும்; மேலும் 1 விநாடியில் அலகிடப்பட்ட முக்கோணத்தின் பரப்பளவு $\frac{1}{2}R\times(R\,\Delta\theta/\Delta t)$ ஆகும். சமப்பரப் பளவுகள் விதிப்படி இது $\frac{1}{2}R_0v_2$-க்குச் சமமாகும்:

$$\frac{1}{2}R^2\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{1}{2}R_0v_0$$

$$\text{மேலும்}\ \frac{1}{R_0v_0}\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{1}{R^2} \qquad (4\text{-}8)$$

சமன் 4-7, 4-8 ஆகியவற்றின் இடது பக்கங்களைச் சமன்படுத்துவோமாயின்

$$\frac{1}{GM_s}\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1}{R_0v_0}\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\text{அல்லது}\ \Delta v = \left(\frac{GM_s}{R_0v_0}\right)\Delta\theta \qquad (4\text{-}9)$$

இவ்வாறாக, திசைவேக மாறுபாடு எப்பொழுதும் கோளின் கோண நிலை வேறுபாட்டிற்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது.

இப்பொழுது, கோளின் கோணநிலை θ-ஐப் பொறுத்துத் திசைவேக வெக்டர் **v**-ன் எண்மதிப்பும் திசையும் எவ்வாறு மாறுகின்றன என நாம் மதிப்பிடமுடியும். இது, படம் 4-11-ல் செய்யப்படுகிறது. படத்தில் $\mathbf{v}_0$ என்ற திசைவேக வெக்டரிலிருந்து தொடங்குவோம். அதனை $\Delta\theta$-ன் 1° மதிப்பிற்குரிய திசைவேக மாறுபாடான $\Delta\mathbf{v}_1$ என்ற வெக்டருடன் கூட்டுவோம். அடுத்து கோளானது கோணநிலையில் மேலும் 1°

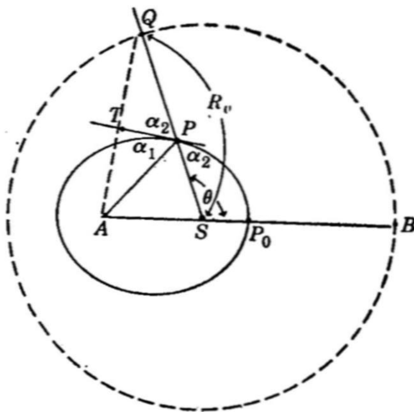
நகரும்போது விளையும் Δv_2-ஐக் கூட்டுவோம். Δv_1, Δv_2 என்ற இரு வெக்டர்களும் சூரியனை நோக்குமாதலால் அவற்றிற் கிடையேயுள்ள கோணமும் $\Delta\theta = 1^\circ$ ஆகும். கோணம் θ-ன்

படம் 4-11

θ-ன் என் மதிப்புக்கும் **v**-ன் திசைமற்றும் எண் மதிப்புக்கும் இடையேயுள்ள எளிய வடிவ கணிதத் தொடர்பைக் காட்டும் திசைவேக வட்டம்.

மதிப்பு படம் 4-11-ல் காட்டப்பட்டுள்ள நிலையை அடையும்வரை நாம் Δv-க்களை இவ்வாறு கூட்டுவோம்; பெறக்கூடிய தொகுபயன் திசைவேகமானது படத்தில் காட்டியவாறு v_0, மற்றும் எல்லா Δv-க்கள் ஆகியவற்றின் வெக்டர் கூட்டுத் தொகையாகும். இவ்வாறு Δv-க்களைத் தொடர்ந்து கூட்டுவோமாயின் ஒரு வட்டத்தை வரைவோம்; இறுதியாகத் தொடக்கத் திசைவேகமான v_0-ஐ அடைவோம். இத்திசை வேக வட்டத்தின் ஆரம் R_v எனக் கொள்வோம். இத் திசைவேக வட்டம் பின்வரும் வடிவியல் பண்பைப் பெற்றிருக்கும். கோளின் கோணநிலையான θ தெரிந் திருந்தால் படத்தில் உள்ளவாறு திசைவேக வட்டத்தின் மையத்திலிருந்து θ-ஐ அளவிடுவதன் மூலம் கோளின் திசை வேகத் திசையை (அல்லது கோளின் பாதைக்குத் தொடு கோட்டை) மதிப்பிடலாம். கோணநிலைக்கும் வளைகோட்டின் தொடுகோட்டிற்கும் உள்ள இக் குறிப்பிட்ட தொடர்பு ஒரு நீள் வட்டத்திற்குரிய வடிவியல் பண்பாக அமைய நேருகிறது. ஒரு நீள்வட்டம் உண்மையிலேயே இந்தப் பண்பைப் பெற்றிருக்கிறது என்று நிறுவுவதே இப்பொழுது நாம் செய்ய வேண்டிய ஒன்றாகும்.

படம் 4-12-ல் R_v என்ற நீளத்தையுடைய ஒரு நூலையும், $(v_0\text{-}R_v)$ என்ற இடை வெளியிலமைந்த இரு குண்டூசிகளையும் கொண்டு ஒரு நீள் வட்டத்தை வரைந்துள்ளோம். இப்பொழுது, சென்ற இரு படங்களிலுள்ள θ என்ற அதே கோண நிலையை ஆராய்வோம். இந்நிலையில் திசைவேகத் திசையை $\overline{PT}$ என்ற தொடுகோடு கொடுக்கிறது. இதனை நிறுவுவதற்கு $\overline{PT}$ என்ற தொடுகோடு படம் 4-11-ல் **v** என்ற வெக்டருக்கு இணையாக உள்ளதென நிறுவவேண்டும். இதனைப் படம் 4-12-ல் புள்ளிக் கோடால் காட்டியுள்ளபடி S என்ற புள்ளியை மையமாகவும் R_v-ஐ



படம் 4-12

திசைவேக வட்டத்தின் ஆரத்திற்குச் சமமான நீளத்தையுடைய ஒரு நூலைக் கொண்டு வரையப்பட்ட நீள்வட்டம். குவியங்களுக்கிடையே யுள்ள தொலைவு = v_0-திசைவேக வட்டத்தின் ஆரம். புள்ளிக்கோடு s-ஐ மையமாகக் கொண்ட திசைவேக வட்டம்.

ஆரமாகவும் கொண்ட வட்டத்தை வரைவதன் மூலம் செய்யலாம். இறுதியாக $\overline{PT}$-ம் படம் 4-11-ல் உள்ள வெக்டர் **v**-ம் $\overline{AQ}$ என்ற கோட்டிற்கு நேர்குத்தாக, எனவே, ஒன்றுக்கொன்று இணையாக உள்ளன என நிறுவுவோம். (ஒரே கோட்டிற்கு நேர்குத்தாக வரையப்படும் கோடுகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக அமையும்.) APT, QPT என்ற முக்கோணங்கள் முழுதொத்தவை என நிறுவுவதன் மூலம் $\overline{PT}$, $\overline{AQ}$-க்கு நேர்குத்தாக உள்ளது என நிறுவலாம். ஒரு நீள்வட்டத்தில் ஒரு புள்ளியிலிருந்து குவியங்களுக்கு வரையப்படும் கோடுகள் அப் புள்ளியில் வரையப்பட்ட தொடுகோட்டுடன் சம கோணங்களை அமைக்குமாதலால் α_1, α_2 என்ற இருகோணங்களும் சமமாகும். AP என்ற பக்கம் = நூலின் நீளம் $-$ $\overline{PS}$ ஆகும்.

$$\overline{AP} = R_v - \overline{PS}$$

ஆனுல் $\overline{QP} = R_v - \overline{PS}$. எனவே $\overline{AP} = \overline{QP}$. எனவே இரு முக்கோணங்களும் முழுதொத்த முக்கோணங்களாகும். (ஒன்றின் இரு பக்கங்களும் ஒரு கோணமும் மற்றென்றின் ஒத்த பக்கங் களுக்கும் கோணத்திற்கும் சமமாகும்.) இறுதியாக படம் 4-12-ல் உள்ள புள்ளிக்கோடுகள் படம் 4-11-ல் உள்ள கோடுகளை 90° சுழற்றுவதால் கிடைக்கக்கூடிய அதே கோடுகள் என கருத்திற் கொள்வதன் மூலம் ($\overline{AB}$, v_0-க்கும், $\overline{AQ}$, v-க்கும் உரிய கோடுகள்) படம் 4–11-ல் உள்ள v என்ற வெக்டர் $\overline{AQ}$-க்கும் நேர்குத்தாக உள்ளது என்பதைக் காண்கிறேம்.

ஆர்வமுள்ள மாணவர் $\overline{SP_0}$ என்ற கோட்டை R_0-ஆகக் கொண்டு படம் 4–12-ல் உள்ள நீள் வட்டத்தைப் பெரிதாக வரைந்து பார்க்கலாம். R_0, v_0 ஆகிய இரண்டும் நீள்வட்டம் எவ்வாறு தோன்றும் என்பதனை முற்றும் உறுதி செய்கின்றன என்பதனை நாம் காண்கிறேம். எனவே, நீள்வட்டத்தை நாம் இப்பொழுது வரைய முடியும். v_0 R_0 ஆகிய அளவுகளைக் கோளின் நிறையால் பெருக்கக் கிடைக்கும் பெருக்கற்பலன் அதன் கோண உந்தத்திற்குச் சமமாகும் என அடுத்த இயலில் காண்போம்.

கணக்குகள்

1. புவியை எடையிடும் கேவண்டிஷ் சோதனையைச் செவ்வா யில் செய்யமுடியுமா? அவ்வாருயின் அது ஒரே முடிவைத் தருமா?

2. கெப்ளரின் மூன்ருவது விதியில் நிலவின் சுற்றுக்காலத்தைப் புவியின் சுற்றுக்காலத்துடன் ஒப்பு நோக்க முடியுமா? நிலவின் சுற்றுக்காலத்தை வியாழ நிலவின் சுற்றுக்காலத்துடன் ஒப்பு நோக்க முடியுமா? வியாழ நிலவுகளின் சுற்றுக்காலங்களை ஒன்றுக் கொன்று ஒப்பு நோக்க முடியுமா?

3. G-ன் அலகுகளை மீட்டர்களில், கிலோகிராம்களில், விஞடிகளில் குறிப்பிடுக.

4. புவியானது இப்போதுள்ள விட்டத்தில் பாதியளவே கொண்டிருக்குமாயின் அதன் தற்போதைய நிறையில் 8-ல் ஒரு நிறையைப் பெற்றிருக்கும். இத்தகைய பாதியளவு புவியின் மீது g-ன் மதிப்பு என்னவாக இருக்கும்?

5. நிலவானது தற்போதைய நிறையைப் போல் இரு

மடங்கு நிறையைக் கொண்டு அதே பாதையில் சுற்றிவருமாயின் அதன் சுற்றுக்காலம் என்னவாக இருக்கும்?

6. நிலவின் நிறையானது புவியினத்தைப்போல் 0.012 மடங்கு. அதன் விட்டம் புவியின் விட்டத்தில் 4-ல் பகுதி. நிலவின் பரப்பில் g-ன் மதிப்பு என்ன?

7. ஒரு மின்மாடம் 16 அடி/வி^{2} என்ற முடுக்கத்துடன் மேல் நோக்கி இயங்கத் தொடங்கிப் பின்னர் 32 அடி/வி என்ற சீரான திசை வேகத்தைப் பெறுகிறது. முடுக்கத்தின் போதும் சீரான திசைவேகத்தின் போதும் 60 கி.கி எடையுடைய மனிதனின் போலி எடைகள் என்ன? மின் மாடத்தைத் தாங்கும் கயிறு அறுந்து விடுமாயின் அவனுடைய போலி எடை என்னவாக இருக்கும்?

8. இயல் 3, 17ஆம் கணக்கில் கூறப்பட்ட ஏவுகலத்திலுள்ள 60 கி.கி மனிதனின் எடை என்ன?

9. 50 கி.கி மனிதனொருவன் ஒரு கயிற்றின் வழியே கீழ் நோக்கி நழுவத் தொடங்குகிறான். அவனது முடுக்கம் $g/7$ ஆகும்.

(a) மனிதனின் போலி எடை என்ன?

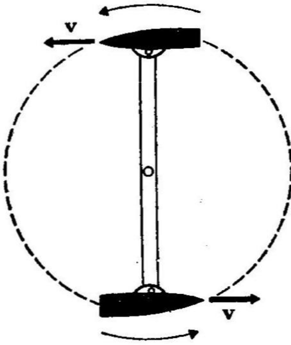
(b) மனிதனுக்கு மேலேயுள்ள கயிற்றின் இழுவிசை என்ன?

10. ஸ்புட்னிக் II–ல் சென்ற நாய் எடையற்றிருந்தது என பத்திரிகைகள் கூறின. ஆயினும் அத் துணைக்கோள் சுழன்று கொண்டிருந்தது. 10 விநாடிக்கு ஒரு சுழற்சி வீதம் அது சுழன்று கொண்டிருப்பதாகவும் நாயானது சுழற்சி அச்சினின்றும் 245 செ.மீ தொலைவிலும் இருப்பதாகவும் கொண்டு நாயின் இயல்பான எடையில் எந்த அளவு எடையை அது பெற்றிருக்கும் எனக் கணக்கிடுக.

11. 0.1 கி.கி சுண்டெலியைத் தன்னகத்தே கொண்ட ஏவுகணை ஒன்று செங்குத்தாக ஏவப்படுகிறது. ஏவுகணையானது 50 கி.மீ உயரத்தில் 980 மீ/வி திசைவேகத்தைப் பெறும்போது எரிபொருள் தீர்ந்துவிடுகிறது. அதன் பின்னர் சுண்டெலியின் போலி எடை என்ன?

12. முழுதொத்த இரு கோளங்களின் மையங்களுக்கிடையே யுள்ள தொலைவு 1 மீட்டர். அவற்றிற்கிடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசை 1 நியூட்டன் எனில் ஒவ்வொரு கோளத்தின் நிறையும் என்னவாக இருக்கும்?

13. நிலவுக்கும் புவிக்கும் இடையே ஏதோ ஒரு புள்ளியில் ஒரு விண்வெளிக் கப்பல் மீது அவையிரண்டும் செயற்படுத்தும் தொகுபயன் ஈர்ப்புவிசை சுழியாகும். அப்புள்ளி எங்கே உள்ளது? புவிக்கும் நிலவுக்கும் உள்ள தொலைவு 240,000 மைல். நிலவானது புவியின் நிறையில் 1.2% நிறையைக் கொண்டுள்ளது. ஜூல்ஸ் வெர்னின் (Jules Verne) ''புவியிலிருந்து நிலவுக்கு'' என்ற புதினத்தில் இப் புள்ளியைக் கடக்கும் போது மட்டும் விண்வெளிப் பயணிகள் எடையற்ற நிலையை உணருகிறார்கள். இது ஏன் தவறு என்பதை விளக்குக.



கணக்கு 14

14. இக் கணக்கில் குறைந்த கால அளவுக்கு எடையற்ற நிலையை விளைவிக்கும் விளையாட்டு ஊர்தி ஒன்றை அமைப்போம். இரு ''ராக்கெட்'' கார்கள் 20 மீ. புயம் ஒன்றின் முனைகளில் இணைக்கப்பட்டு v என்ற திசைவேகத்துடன் ஒரு செங்குத்து வட்டத்தில் படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு சுற்றப்படுகின்றன. பயணிகளின் கார் உச்சியை அடையும்போது அவர்கள் எடையற்றிருக்க வேண்டுமாயின் v-ன் மதிப்பு என்னவாக இருக்க வேண்டும்? கார் அடியை அடையும்போது அவர்களின் எடை என்னவாக இருக்கும்?

15. புவிப் பரப்பிலிருந்து 100 மைல் உயரத்தில் g-ன் மதிப்பு என்ன?

16. சூரியனின் தொலைவு 93 மிலியன் மைல்கள். G-ன் மதிப்பை உரிய அட்டவணைகளிலிருந்து அறிந்து சூரியனின் நிறையைக் கணக்கிடுக.

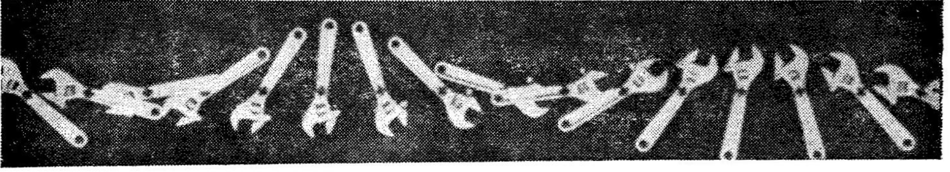
17. வியாழனிலிருந்து அதன் நிலவுகளுள் ஒன்றின் தொலைவையும் அந் நிலவின் சுற்றுக்காலத்தையும் நீவிர் அறிந்தால் வியாழனின் நிறையை எவ்வாறு கணக்கிடுவீர் என விளக்குக.

18. புவிப் பரப்பிலிருந்து h உயரத்தில் வட்டப்பாதையில் இயங்கும் துணைக்கோளின் திசைவேகம் v-ன் மதிப்பு என்ன ? v-ஐ R (புவியின் ஆரம்) h, g (புவிப்பரப்பில் ஈர்ப்பு முடுக்கம்) ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் தருக. காற்று உராய்வினால் துணைக்கோளின் ''வேகம் குறைக்கப்படும்பொழுது'' அதன் திசைவேகம் கூடுமா அல்லது குறையுமா?

19. நிலவானது ஒரு வட்டப்பாதையில் இயங்குமாறு அதன் திசைவேகம் இருமடங்காக அதிகரிக்கப்படுமாயின் அதன் புதிய பாதையின் ஆரம் என்னவாக இருக்கும்? அதன் புதிய சுற்றுக் காலம் என்னவாக இருக்கும்

20. சந்திரன் இறுதிக்கால் சுற்றில் இருக்கும்போது அதனை நோக்கி ஏவப்பட்ட ஒரு ஏவுகணை புவியின் திசைவேகத்தைவிட அதிகமான கோளியல் திசைவேகத்தை (planetary velocity)க் கொண்டிருக்கும். அது புவியிலிருந்து விடுபடுவதாகக் கருதி அதன் பாதையைப் புவியின் பாதையுடன் பண்பியலாக ஒப்பு நோக்குக. அதே ஏவுகணை சந்திரனின் முதல் கால் சுற்றின்போது ஏவப்பட்டிருப்பின் அதன் பாதையைப் புவியின் பாதையுடன் ஒப்பு நோக்குக. சந்திரனின் விளைவுகளைப் புறக்கணிக்க.

21. சந்திரனின் நிலையிலுள்ள 1 கி.கி நிறை ஒன்றின் மீதான புவியீர்ப்பு விசை என்ன? சந்திரனின் நிலையிலுள்ள 1 கி.கி நிறை ஒன்றின் மீதான கதிரவ ஈர்ப்பு விசையையும் கணக்கிடுக. சந்திரன் கதிரவனிலிருந்து 93 மிலியன் மைல்கள் தொலைவிலும் புவியிலிருந்து 240,000 மைல்கள் தொலைவிலும் உள்ளது? இக் கணக்கை G-ன் மதிப்பையோ அல்லது புவியின் நிறையையோ அல்லது கதிரவனின் நிறையையோ அறியாமலேயே செய்யலாம்.



கோண உந்தமும் ஆற்றலும்
(Angular Momentum and Energy)

இயல் 5

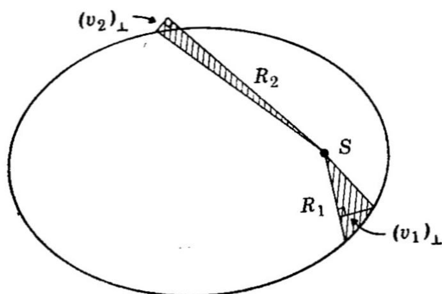
5. கோண உந்தமும் ஆற்றலும்

இயற்கையின் அடிப்படை விதிகள் பலவற்றை கணிதவியலின் அடிப்படையில் அழிவின்மை விதிகளாகக் கூறலாம். தனித் தொகுப்பு (closed system) ஒன்றில் (மொத்த உந்தம் அல்லது ஆற்றல் போன்ற) ஏதோ ஒரு பௌதிக ராசி எப்போதும் அழி யாமல் (அளவில் மாருமல்) இருக்கிறது என ஒரு அழிவின்மை விதி கூறுகிறது. எவ்விதப் புறச்செயல் விளைவுக்கும் (outside-influence) உட்படாத துகள்களின் தொகுப்பு ஒன்றைத் தனித் தொகுப்பு எனக் கொள்கிறோம். அத்தகைய தனித்தொகுப்பில் புற விசைகள் எதுவும் இல்லாமலிருக்க வேண்டும். ஆயினும் அக விசைகளின் மீது எவ்விதக் கட்டுப்பாடும் கிடையாது. துகள்கள் ஒன்றுக்கொன்று செயலெதிர்ச் செயற்படலாம். இந்த இயலில் நாமறியும் அழிவின்மை விதிகள் யாவும் மிகவும் திருத்தமானவை என நம்பப்படுகின்றன; இதுவரை அவற்றிற்குப் புறம்பான நிகழ்ச்சிகள் எதுவும் காணப்படவில்லை. இந்த அழிவின்மை விதி களுள் ஒன்ருன உந்த அழிவின்மை விதியைப்பற்றி மூன்றும் இயலில் கூறப்பட்டது. அடுத்து அதனுடன் நெருங்கிய தொடர்பு கொண்ட கோண உந்த அழிவின்மையைப் பற்றிக் காண்போம்.

5-1 கோண உந்த அழிவின்மை

மற்றொரு புனித விதி

சமப் பரப்பளவுகள் விதியின் வருவிப்பானது ஈர்ப்புவிசை யைப் பற்றிய நியூட்டனின் பொதுவிதியைச் சற்றும் சார்ந்திருக்க வில்லை எனச் சென்ற இயலின் இறுதியில் கூறப்பட்டது. உண்மை யில் சமபரப்பளவுகள் விதியானது பொதுவிதியான கோண உந்த அழிவின்மை விதியின் ஒரு தனிவகையாகும். படம் 5-1-ல் உள்ள வாறு கோள் ஒன்றின் ஒரு விஞடி கால அளவுகளில் அலகிடப் பட்ட ஏதேனும் இரு முக்கோணங்களைக் கருதுவோம். R-க்கு நேர்க்குத்துத் திசையில் v-ன் ஆக்கக்கூறு $v_\perp$ எனில் இவ்விரு



படம் 5-1

'நிழல் முக்கோணங்கள்' கோள் இருவேறு நிலைகளில் இருக்கும் போது ஒரு விநாடியில் அலகிட்ட பரப்பளவுகள்

முக்கோணங்களின் பரப்பளவுகள் $\frac{1}{2} R_1(v_1)_\perp$, $\frac{1}{2} R_2(v_2)_\perp$ ஆகும். எனவே,

$$R_1 \times M(v_1) = R_2 \times_\perp M(v_2)_\perp$$

$M(v_1)_\perp$ என்பது R_1 கோட்டிற்கு நேர்குத்துத் திசையில் கோண உந்தத்தின் ஆக்கக்கூறு, $(P_1)_\perp$ ஆகும். எனவே,

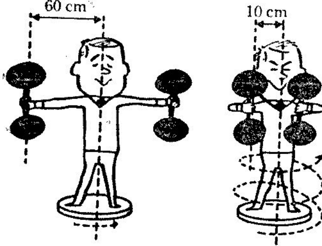
$$R_1 \times (P_1)_\perp = R_2 \times (P_2)_\perp \qquad (5\text{-}1)$$

$R \times P_\perp$ என்பது கோண உந்தம் என வரையறுக்கப்படுகிறது. கோள் பாதையின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் $R \times P_\perp$-மதிப்பு மாறாமல் இருக்கிறது என்பதைச் சமன் 5-1 கூறுகிறது. அதாவது சூரிய மண்டலத்தின் மொத்த கோண உந்தத்தின் அளவு மாறாமல் இருக்கிறது (அது ஒருபோதும் குறைவதோ கூடுவதோ இல்லை). R என்ற தொலைவை சூரியனிலிருந்தோ அல்லது விண்வெளியில் முடுக்கம் பெறாத வேறெந்தப் புள்ளியிலிருந்தோ அளவிட்டாலும் இது உண்மையாகும். எந்தவொரு தனித் தொகுப்பின் கோண உந்தமும் அளவில் ஒருபோதும் மாறாமல் இருக்கவேண்டும் எனக் கோண உந்த அழிவின்மை விதி கூறுகிறது. துகள்களுக்கிடையே உள்ள செயலெதிர்ச் செயல்களின் தன்மை எவ்வகையினதாயினும் இவ்விதி பொருந்தும். இவ்விதி கடுமையான பரிசோதனைகளுக்கும் உட்படுத்தப் பட்டுள்ளது; இதுவரை அதற்கு முரணான நிகழ்ச்சிகள் எதுவும் காணப்படவில்லை.

மாதிரிக் கணக்கு

சுழல் மேசை ஒன்றின் மீது நிற்கும் குறைந்த எடையுடைய மாணவன் ஒருவன் பக்கவாட்டில் நீட்டிய அவனது கைகளில் கனமான இருமுனைப் பளுக்கள் (dump bells) இரண்டை வைத்திருக்கி

ருன். விநாடிக்கு ஒரு சுழற்சி வீதம் அவன் சுழலும்வரை மேசைச் சுழற்றப்படுகிறது. பின்னர் அம் மாணவன் இரு முனைப் பளுக்களை அவனது மார்பை நோக்கிக் கொண்டு வருவானாயின் என்ன நேரும்? இரு முனைப் பளுக்கள் முதலில் சுழற்சி அச்சிலிருந்து 60 செ.மீ தொலைவில் இருந்ததாகவும் பின்னர் 10 செ.மீ தொலைவுக்குக் கொண்டு வரப்பட்டதாகவும் கருதுக. இருமுனைப் பளுக்களின் கோண உந்தத்தை ஒப்பு நோக்க மாணவனின் கோண உந்தத்தைப் புறக்கணிக்கவும்.



படம் 5-2

"மூன்று இருமுனைப்பளுக்கள்" விளக்கம்.

இரு முனைப் பளுக்களின் தொடக்கத் திசைவேகம் $v_1 = 2\pi R_1/T_1$; $R_1 = 60$ செ.மீ; $T_1 = 1$வி. ஒவ்வொரு இரு முனைப்பளுவின் நிறை M எனில் தொடக்க மொத்த

$$\text{கோண உந்தம்} = 2R_1 Mv_1 = 4\pi M \frac{R_1^2}{T_1}$$

இரு முனைப்பளுக்கள் $R_2 = 10$ செ.மீ தொலைவுக்குக் கொண்டு வரப்பட்டபின் மொத்த

$$\text{கோண உந்தம்} = 2R_2 \; Mv_2 = 4\pi \; M\frac{R^2_2}{T_2}$$

கோண உந்த அழிவின்மை விதிப்படி இரு கோவைகளும் சமமாகும். அதாவது,

$$\frac{R_1^2}{T_1} = \frac{R_2^2}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{R_2^2}{R_1^2} T_1$$

$$T_2 = \frac{100}{3600} \times 1 \text{ வி}$$

$$T_2 = \frac{1}{36} \text{வி}$$

எனவே, மாணவன் விநாடிக்கு 36 சுழற்சிகள் வீதம் சுழலத் தொடங்குவான் என்பதை நாம் காணலாம். சில பௌதிக ஆசிரியர்கள் இதனை மூன்று இரு முனைப்பளுக்கள் விளக்கம் (three dumb bells demonstration) என அழைப்பர்.



படம் 5-3

தடையின்றி இயங்கும் ஒரு திருகுக் குறடு. குறட்டின்மீது செயற்படும் நிகரப் புறவிசை சுழியாகும். கறுப்புப் பட்டையால் குறியிடப்பட்டிருக்கும் நிறைமையத்தைப் பற்றி அது சீராகச் சுழலுகிறது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

5-2 நிறைமையம்

எடையிட்ட சராசரி

படம் 5.3 இயங்கும் ஒரு தனித் தொகுப்பினைக் காட்டுகிறது. நிகரப் (net) புறவிசை ஒன்றும் தொழிற்படாமல் தடையின்றி இயங்கும் ஒரு திருக்குக்குறடே (wrench) அத் தனித் தொகுப்பு ஆகும். குறட்டின் கோண உந்தம் நிலையானது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது; குறடானது + என்ற கறுப்புக் குறியால் குறிப்பிடப்பட்டிருக்கும் ஒரு புள்ளியைப்பற்றி சீரான வேகத்தில் சுழலுகிறது. இப்பொழுது, புறவிசைகள் ஏதும் இல்லாதபோது சுழல் இயக்கம் பெற்றிராத இப் புள்ளி நிறைமையம் என நாம் நிறுவுவோம். N துகள்கள் அடங்கிய தொகுப்பின் நிறைமையத்தின் x ஆயத் தொலைவானது

$$x^c = \frac{M_1 x_1 + M_2 x_2 + \dots + M_N x_N}{M} \quad (5\text{-}2)$$

என வரையறுக்கப்படுகிறது. சமன் பாட்டில் M என்பது எல்லாத் துகள்களின் மொத்த நிறை; x_1 என்பது முதல் துகளின் தொலைவான R_1-ன் x ஆக்கக்கூறு ஆகும். மேற்கண்ட சமன் பாட்டின் இரு பக்கங்களையும் t-ஆல் வகுத்தால் நிறைமையத்தின் திசை வேகத்தின் x ஆக்கக் கூறினைப் பெறலாம். அதாவது

$$\frac{x_c}{t} = \frac{M_1 \frac{x_1}{t} + M_2 \frac{x_2}{t} + \dots + M_N \frac{x_N}{t}}{M}$$

$$(v_c)_x = \frac{M_1 (v_1)_x + M_2 (v_2)_x + \quad + M_N (v_N)_x}{M}$$

$$= \frac{(P_1)_x + (P_2)_x + \dots + (P_N)_x}{M}$$

$$= \frac{P_x}{M}$$

P_x என்பது தொகுப்பின் மொத்த நேர் கோட்டு உந்தத்தின் x ஆக்கக்கூறு ஆகும். உந்த அழிவின்மை விதிப்படி புற விசைகள் ஏதும் இல்லாதபோது P_x, P_y, P_z ஆகியவை மாருத மதிப்பைக் கொண்டிருக்க வேண்டும். எனவே, தொகுப்பு சுழன்று கொண் டிருக்கிறதோ இல்லையோ நிறைமையத்தின் திசைவேகத்தின் மூன்று ஆக்கக்கூறுகளும் மாருமல் இருக்கவேண்டும். ஆகவே புற விசைகள் இல்லாத போது நிறைமையமானது ஒரு நேர் கோட்டில் இயங்குகிறது. புறவிசைகள் இல்லாத போது குறடுபோன்ற ஒரு திண் பொருளானது தடையின்றி இயங்கவும் சுழலவும் செய்யுமா யின் நிறைமையத்தின் வரையறைப்படி அதற்கு முடுக்கமோ சுழலியக்கமோ இருக்கக்கூடாது என்பதனை நாம் காண்கிருேம். எனவேதான் திண்பொருட்களும் துகள் தொகுப்புகளும் எப்பொழுதும் அவற்றின் நிறைமையத்தைப் பற்றிச் சுழல் கின்றன. புவியின் மீது செயற்படும் புறவிசைகளான அலைவிசை களை (tidal forces) புறக்கணிப்போமாயின் கோண உந்த அழிவின்மை விதிப்படி புவியானது அதன் நிறை மையத்தைப் பற்றி எப்போதும் அதே வேகத்துடன் சுழலும்.

மாதிரிக் கணக்கு

நிலவின் நிறையானது புவியின் நிறையில் 1.2% ஆகும். புவி யிலிருந்து நிலவின் தொலைவு 240,000 மைல் எனில் புவிநிலவுத் தொகுப்பின் நிறைமையம் எங்கே உள்ளது?

புவி மையத்திலிருந்து நிலவை நோக்கி x என்ற தொலைவை அளவிடுவதாகக் கொள்வோம். சமன் 5-2-ன் படி

$$x_c = \frac{M_e x_e + M_m x_m}{M_e + M_m}$$

$x_e = 0$ என்பது புவியின் நிலை ; $x_m = 240,000$ மைல் என்பது நிலவின் நிலை. எனவே

$$x_c = \frac{M_m}{M_e + M_m}\, x_m$$

$$x_c = \frac{0.012}{1.012} \times 240,000 \text{ மைல்}$$

$x_c =$ புவி மையத்திலிருந்து 2850 மைல்

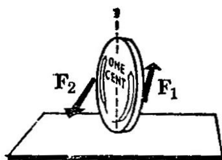
புவியும் நிலவும் இப் புள்ளியைப்பற்றி மாத மொருமுறைச் சுழல வேண்டியிருப்பதால் புவியானது உண்மையில் தன்னுள்ளேயே உள்ள ஒரு புள்ளியைப் பற்றி மாத மொருமுறைச் சுழலுகிறது என்பதனைக் காணலாம்.

5-3 நிலையியல்*

சுழல்வதைத் தடுப்பது எப்படி

புற விசைகள் ஏதும் இல்லாதபோது ஒரு அமைப்பின் மொத்த உந்தமும் கோண உந்தமும் மாறுமலிருக்கும் என நாம் கண்டோம். புற விசைகள் செயற்படும்போதும் மொத்த உந்தமும், கோண உந்தமும் மாறுமல் இருக்குமாறு செய்யமுடியுமா என்ற வினவை எழுப்புவோமாயின் அதற்கான விடை 'ஆம்' என்பதேயாகும். 70ஆம் பக்கத்தில் கூறப்பட்ட சுவற்றை எதிர்த்துத் தள்ளப்படும் ஒருமரக்கட்டையை நினைவு கூர்வோம். கட்டையின் மீது இருவிசைகள் செயற்பட்டன; அவற்றின் கூட்டுத்தொகை சுழியாக இருந்தது. புறவிசைகளின் வெக்டர் கூட்டுத்தொகை சுழியாகுமாயின் அவ்வமைப்பின் உந்தம் மாறுமல் இருக்கும் என நியூட்டனின் விதிகளிலிருந்து தெளிவாகிறது. ஒரு திண்பொருளின் தொடக்க உந்தம் சுழியானல், அதன்மீது செயற்படும் புறவிசைகளின் வெக்டர் தொகை சுழியாகுமாயின் அப்பொருளின் உந்தம் எப்போதும் சுழியாக இருக்கும்.

அடுத்து பொருளின் சுழலியக்கத்தைப் பற்றிக் காண்போம் படம் 5-4-ல் உள்ளது போன்ற F_1, F_2 என்ற இரு சமமான எதிர்



F_1, F_2 ஆகியவற்றின் வெக்டர் கூட்டுத்தொகை சுழியானபோதினும் நாணயம் இயங்க (சுழல)த் தொடங்குகிறது.

படம் 5-4

விசைகளின் உதவியால் ஒரு நாணயத்தைச் சுழற்ற முடியும் என்பதனை நாமறிவோம். இப் புறவிசைகளின் வெக்டர் கூட்டுத் தொகை சுழியான போதிலும் நாணயத்தின் கோண உந்தம் மாறுமல் இல்லை. கோண உந்தம் என்பது (பொருள் எப் புள்ளியைப் பற்றிச் சுழலுகிறதோ அப் புள்ளியிலிருந்து) தொலைவு, (அத்தொலைவுக்கு நேர்குத்துத் திசையில்) உந்தத்தின் ஆக்கக்கூறு ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனுகும். உந்தமாறுபாட்டு வீதம் என்பது விசையாகும். எனவே, கோண உந்த மாறுபாடானது தொலைவு, மற்றும் உந்த மாறுபாட்டு வீதத்தின் அதாவது விசையின் நேர்குத்து ஆக்கக்கூறு ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனுகும் என நிறுவலாம். $R \times F_1$ (தொலைவு × விசையின் நேர்குத்து

*விரும்பினல் இப் பகுதியை விட்டு விடலாம். பின்வரும் பகுதிகள் எவையும் இதனைச் சார்ந்ததல்ல.

ஆக்கக்கூறு) என்னும் அளவு திருப்புவிசை என அழைக்கப்படுகிறது. கோண உந்த மாறுபாட்டு வீதமானது திருப்பு விசைக்கு சம மாகும். கடிகார எதிர்த் திசையில் (இடஞ்சுழியாக) சுழற்சியை விளைவிக்கக் கூடிய திருப்பு விசைகள் நேர்க்குறியுடையன எனவும் கடிகாரத் திசையில் வலஞ்சுழியாகச் சுழற்சியை விளைவிக்கக் கூடியவை எதிர்க்குறியுடையன எனவும் வரையறுக்கப்படுகின்றன. ஒரு திண்பொருளின் கோண உந்தம் மாறாமல் இருப்பதற்கான நிபந்தனை என்னவெனில் அதன் மீது செயற்படும் திருப்பு விசை களின் கூட்டுத்தொகை சுழியாக வேண்டும் என்பதேயாம். ஒரு திண்பொருளின் மீது செயற்படும் விசைகள் அப்பொருள் அமைதி யுற்றிருக்கும் வகையில் செயற்படுமாயின் அப்பொருள் நிலையியல் சமநிலை (static equilibrium)யில் உள்ளது எனக் கூறப்படும். ஒரு பொருள் நிலையியல் சமநிலையில் இருப்பதற்கு இரு நிபந்தனைகள் இருப்பதை நாம் காணலாம். அவையாவன:

நிபந்தனை I: திருப்பு விசைகளின் கூட்டுத் தொகை சுழியாக வேண்டும்.

நிபந்தனை II: விசைகளின் வெக்டர் கூட்டுத்தொகை சுழியாக வேண்டும்.

ஒரு திண் பொருளின்மீது R_1, R_2, R_3 என்ற தொலைவுகளில் மூன்று புற விசைகள் செயற்படுமாயின் மேற்கூறப்பட்ட நிபந்தனைகள்

$$R_1(F_1)_\perp + R_2(F_2)_\perp + R_3(F_3)_\perp = 0$$

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 = 0$$

என்னும் சமன்பாடுகளைத் தருகின்றன; R_1, R_2, R_3 என்ற தொலைவுகளை ஏதேனும் ஒரு புள்ளியிலிருந்து அளவிடலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 1.

70 கி.கி நிறையுள்ள ஒரு தந்தையும் 50 கி.கி நிறையுள்ளதா யும் 6மீ. நீளமுள்ள ஒரு ஊசற்கட்டையின் (seesaw) முனைகளில் உள்ளனர், ஊசற்கட்டை அதன் மையத்தில் சம நிலையில் இருக்கும் வகையில் அவர்களின் 25 கி.கி குழந்தை எங்கு அமர வேண்டும்?

F_1, F_2, F_3 என்பன முறையே தந்தை, தாய், குழந்தை ஆகியோர்களின் எடை எனக் கொள்வோம். இப்பொழுது சுழல் அச்சைப் பற்றிய திருப்புவிசைகளை அளவிடுவோம். தந்தை, R_1F_1 ($R_1 = 3$மீ) என்ற இடத்திருப்பு விசையைச் செயற் படுத்துகிறார். தாயும் குழப்தையும் $-R_2F_2$, $-R_3F_3$ ($R_2 = 3$,மீ

R_3-மதிப்பிடப்பட வேண்டியது) என்ற வலத்திருப்பு விசைகளைச் செயற்படுத்துகிறார்கள். நிபந்தனை I-ன் படி

$$R_1F_1 - R_2F_2 - R_3F_3 = 0$$

அல்லது $$R_3 = \frac{R_1M_1g - R_2M_2g}{M_3g}$$

படம் 5-5

ஊசற்கட்டையில் குடும்பம்.

$$R_3 = \frac{3 \times 70 - 3 \times 50}{25} \text{ மீ} = 2.4 \text{ மீ}.$$

படம் 5-6

ஏணியின்மீது மனிதன், சுவர், தரையின் விசைகள்

மாதிரிக் கணக்கு 2.

ஒரு ஏணியின் நீளம் $L = 4$ மீ. அது படம் 5-6-ல் காட்டியுள்ளவாறு உராய்வற்ற ஒரு சுவற்றின்மீது சாய்ந்துள்ளது.

ஏணி நழுவுமுன் தரை அளிக்கக்கூடிய பெரும உராய்வு விசை $F_f = 200$ நியூட்டன்கள் ஆகும். 600 நியூட்டன்கள் எடையுடைய ஒரு மனிதன் ஏணி நழுவுமுன் அதன்மீது எவ்வளவு தூரம் ஏறமுடியும்? மனிதனின் எடையைப் புறக்கணிக்க.

ஏணி நழுவத் தொடங்கும்பொழுது மனிதன் ஏணியின் மீது தரையிலிருந்து s தொலேவில் இருக்கட்டும். ஏணி, தரையைத் தொடும் புள்ளியைப் பற்றிய திருப்புவிசைகளேக் கணக்கிடுவோம். சுவர் ஏணிமீது செயற்படுத்தும் F_ω என்ற விசையால் விளேயும் நேர்த்திருப்புவிசை, மனிதனின் எடை F_G-ஆல் விளேயும் எதிர்த் திருப்புவிசை ஆகிய இரு திருப்புவிசைகள் உள்ளன. F_ω, F_G ஆகியவற்றின் ஏணிக்கு நேர்குத்து ஆக்கக் கூறுகள் முறையே $\frac{\sqrt{3}}{2}F_\omega$, $\frac{F_G}{2}$ ஆகும், நிபந்தனே I-ன் படி இவ்விரு திருப்பு விசைகளின் கூட்டுத்தொகை

$$L \times \left(\frac{\sqrt{3}}{2} F_\omega\right) - s \times \frac{F_G}{2} = O$$

$$s = \frac{\sqrt{3}\ F_\omega}{F_G} L$$

நிபந்தனே II-ன் படி ஏணியின்மீது செயற்படும் கிடைமட்ட விசைகளின் கூட்டுத்தொகை சுழியாகும்; அதாவது $F_f = F_\omega$ ஆகும்.

எனவே $s = \frac{\sqrt{3}\ F_f}{F_G} L = \sqrt{3} \times \frac{200}{600} \times 4$மீ. $= 2.3$மீ.

நிலேயியலில் உள்ள கணக்குகளில் இரண்டு அல்லது மூன்று விசைகள் அல்லது தூரங்களே மதிப்பிடவேண்டியிருக்கலாம். நிபந்தனேகள் I-ம் II-ம் மூன்று ஒருங்கமைச் சமன்பாடுகளேத் தரவல்லவை. அச் சமன்பாடுகளின் உதவியால் மூன்று ராசிகளே (விசைகள் அல்லது தூரங்கள்) மதிப்பிடலாம். அத்தகைய கணக்குகளில் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட விசைகள் செயற்படும் புள்ளியைப் பற்றிய திருப்புவிசைகளே மதிப்பிடுவதன் மூலம் அக் கணக்குகளே எளிதாக்கலாம்.

5-4 ஆற்றல்

ஜூல்களும் எர்குகளும் (joules and ergs)

MKS முறையில் ஆற்றலின் அலகு பின்வருமாறு வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு பொருளின்மீது ஒரு நியூட்டன் நிகர விசையானது அதன் திசையில் 1 மீட்டர் தொலேவுக்குச் செயற்படு

மாயின் அப்பொருளுக்கு ஓர் அலகு ஆற்றல் அளிக்கப்படுகிறது. எனவே, ஆற்றலின் அலகு கி.கி$\times$மீ^{2}/வி^{2} ஆகும். எனினும் விசைக்கு உள்ளது போலவே ஆற்றலின் அலகும் ஜூல் என்னும் தனிப் பெயரைப் பெற்றுள்ளது. CGS முறையில் ஆற்றலின் அலகு எர்க் எனப்படும்; ஒரு டைன் நிகர விசையானது ஒரு பொருளின் மீது 1 செ.மீ தொலைவுக்குச் செயற்படும்போது விளையும் ஆற்றல் 1 எர்க் ஆகும். இரு அலகுகளுக்குமிடையே உள்ள தொடர்பு :

1 ஜூல் = 1 நியூட்டன் $\times$ 1 மீட்டர்
= 10^5 டைன்கள் $\times$ 10^2 செ.மீ
= 10^7 எர்குகள்

இயக்க ஆற்றல் (Kinetic Energy)

M என்ற ஒரு நிறை அம்பரத்தில் (space) தடையின்றி மிதந்து கொண்டிருக்கும் ஒரு நிலையைக் கருதுவோம். M-ன் மீது திடீரென Fapp என்ற ஒரு விசையைச் செயற்படுத்துவோமாயின், நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி நிறையானது $a = F_{app}/M$ என்ற முடுக்கத்துடன் இயங்கத் தொடங்கும், அது s தொலைவு சென்றபின் v என்னும் திசைவேகத்தைப் பெறும். சமன் **2-11**-ன் படி

$$v^2 = 2as$$

அல்லது $v^2 = 2\left(\dfrac{F_{app}}{M}\right)$

அல்லது $\frac{1}{2}Mv^2 = F_{app}\, s$

எனவே $\frac{1}{2}Mv^2$ என்பது எண் மதிப்பில் M-க்குக் கொடுக்கப்பட்ட ஆற்றலுக்குச் சமமாயிருப்பதைக் காணலாம். **ஒரு பொருளின் நிறை, அதன் திசைவேகத்தின் இருமடி ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனின் அரைப்பகுதி அப்பொருளின் இயக்க ஆற்றலென (KE) வரையறுக்கப்படுகிறது.**

இயக்க ஆற்றலின் வரையறை $KE = \frac{1}{2}Mv^2$

நிறையானது v_0 என்ற தொடக்கத் திசைவேகம் ஒன்றைப் பெற்றிருப்பின் சமன் 2-11-ன்படி

$$v^2 - v_0^2 = 2as = 2\left(\frac{F_{app}}{M}\right) s$$

அல்லது $\frac{1}{2}Mv^2 - \frac{1}{2}Mv_0^2 = F_{app} \cdot s$

இவ்வகையில் M-க்கு F_{app} s என்ற அளவு ஆற்றலை அளித்தாலும் அது M-ன் இயக்க ஆற்றல் மிகுதிப்பாடாக வெளித் தோன்ற

வேண்டும் என்பதை நாமறிகிறோம். M என்ற ஒரு நிறையின் மீது ஒரு விசையைச் செயற்படுத்துவதால் அதற்கு அளிக்கப்படும் ஆற்றல் M-ன் மீது செய்யப்பட்ட வேலை என வரையறுக்கப் படுகிறது. தடையின்றி இயங்கக் கூடிய ஒரு துகளைப் பொருத்த வரை அதன்மீது செய்யப்பட்டவேலை அதன் இயக்க ஆற்றலாக வெளித் தோன்றுகிறது எனச் சற்று முன்னரே கண்டோம்.

5-5 நிலையாற்றல் (potential Energy)

இயல் திறமுடையாதாகக் கிடைக்கும் மறைவாற்றல்

நிலையாற்றலைப் பற்றி இப்போது காண்போம். முதலில் புவிப் பரப்பில் உள்ள M என்ற ஒரு நிறையைக் கருதுவோம். அதனை h உயரத்திற்கு மெதுவாகத் தூக்குவதற்கு $F_{app} = -F_G$ என்ற ஒரு விசைப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. செய்யப்பட்டவேலை

$$W = F_{app} \cdot h$$

அல்லது $W = Mgh$

இங்கு இயக்க ஆற்றல் மிகுதிப்பாடு சுழியாகும். Mgh என்ற ஆற்றல் என்னவாயிருக்கும்? Mgh என்ற ஆற்றல் இயக்க ஆற்றல் வடிவில் பெறக்கூடிய வகையில் பொருளில் மறைந்திருக்கிறது. நாம் செய்ய வேண்டுவதெல்லாம் அந் நிறையை இயங்கச் செய்ய வேண்டியதேயாகும். M என்ற நிறையானது h உயரத்திலிருந்து விழுந்து $v^2 = 2gh$ என்னும் வாய்பாட்டால் பெறக்கூடிய திசை வேகத்தைப் பெறும். அந் நிலையில் இயக்க ஆற்றலை மதிப்பிடு வோம்.

$$\begin{aligned} KE &= \tfrac{1}{2} mv^2 \\ &= \tfrac{1}{2} m(2gh) \\ &= Mgh \end{aligned}$$

செய்யப்பட்ட முழு வேலையையும் ($W = Mgh$) விருப்பப்படி இயக்க ஆற்றலாக மாற்றமுடியும் என்பதை நாம் காணலாம்.

வரையறை: **M-ன் நிலைகாரணமாக அதில் மறைந்துள்ள ஆற்றலே நிலையாற்றல், U என வரையறுக்கப்படுகிறது.** வரையறையின் மற்றொரு வடிவமானது: நிலையாற்றல் என்பது M என்ற நிறையை அதன் நிலையைப் பொறுத்த விசை ஒன்றை எதிர்த்து நகர்த்துவதற்குத் தேவைப்படும் வேலையாகும். மேற்கூறப்பட்ட எடுத்துக்காட்டில் $U = Mgh$. M என்ற நிறை h உயரத்தில் இருப்பின் அதனை h உயரத்திற்கு விழச் செய்வதன் மூலம் அதன் நிலையாற்றல் U-ஐ இயக்க ஆற்றலாக மாற்றலாம். நிலையாற்ற

லுக்கான விளக்கத்தை அதன் பெயரே அளிக்கிறது—அதாவது நிலேயாற்றல் என்பது பொருளின் நிலேயால் அது பெறும் ஆற்றல்.

M-ஐக் கிடைத்தளத்தில் மெதுவே நகர்த்துவதற்குத் தேவையான விசை (உராய்வைப் புறக்கணிப்போமாயின்) சுழியாகும். எனவே, M-ஐக் கிடைத்தளத்தில் நகர்த்தும்போது வேலே எதுவும் செய்யப்படுவதில்லே. ஒரு நிறையானது சுற்றுப்பாதை ஒன்றின் வழியே h உயரத்திற்குத் தூக்கப்படின் விசையின் செங்குத்து ஆக்கக் கூறினுல் செய்யப்பட்ட வேலே Mgh ஆகும்; விசையின் கிடைத்தள ஆக்கக் கூறினுல் செய்யப்பட்ட வேலே சுழியாகும். எனவே, M-ஐ h உயரத்திற்கு எடுத்துச் செல்லத் தேவைப்படும் வேலே Mgh ஆகும்; அவ்வேலேயானது M எடுத்துச் செல்லப்படும் பாதையின் இயல்பைப் பொறுத்ததல்ல.

M என்ற ஒரு நிறையானது அதன் நிலேயை மட்டும் சார்ந்திருக்கக் கூடிய F_C என்ற விசையின் ஆட்சிக்குட்பட்டிருப்பின் நிலேயாற்றல் விளேகிறது. ஒரு வில்லின் முனேயில் இணேக்கப்பட்ட நிறை அளிக்கக்கூடிய விசை அத்தகைய விசையின் சிறந்த எடுத்துக்காட்டாகும். இங்கு ஹூக் விதி (Hooke's law)யின்படி $F_C = kx$; k என்பது வில் மாறிலி (spring constant) எனப்படும். நிலேயாற்றலுக்கான வரையறையின்படி U என்பது வில்லினே x தொலேவு நீட்டுவதற்குச் செய்யப்படும் வேலேயாகும். வில்லினே நீட்டும் பொழுது F_{app} என்ற விசையானது தொலேவைப் பொறுத்து சீராக அதிகரித்து சுழியிலிருந்து kx என்ற மதிப்பை அடைகிறது. செய்யப்பட்ட வேலேயானது x தொலேவில் F_{app}-ன் சராசரி, x ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனுகும். படம் 5-7-ல் F_{app}, x-ன் சார்பலனுகக் (function) காட்டப்பட்டுள்ளது. x தொலேவில் F_{app}-ன் சராசரி மதிப்பு $\frac{1}{2} kx$ என்பதை நாமறிவோம். செய்யப்பட்ட வேலேயானது தொலேவு, x-ன் $\frac{1}{2} kx$ மடங்காகும்.

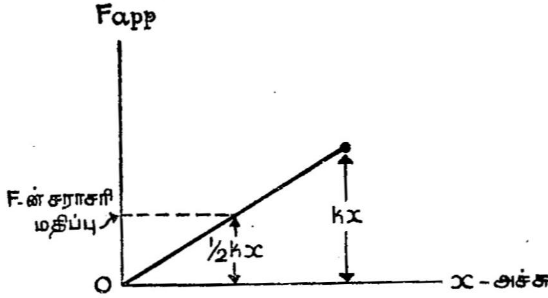
$$U = \frac{1}{2} kx^2$$

5-6 ஆற்றல் அழிவின்மை

வெறுமையிலிருந்து சிறிதேனும் கிடைக்காது.

ஒரு வில்லின் முனேயில் இணேக்கப்பட்ட M என்ற ஒரு நிறை வில்லானது x_0 தொலேவு நீளும் (அல்லது சுருங்கும்) வரை இழுக்கப்படுவதாக (அல்லது தள்ளப்படுவதாக)க் கொள்வோம். M என்ற நிறைமீது $W - \frac{1}{2} kx_0{}^2$ என்ற வேலே செய்யபட்டிருக்கும். இது நிலேயாற்றல் $U = \frac{1}{2} kx_0{}^2$ வடிவில் சேமித்து வைக்கப்படும். உராய்வு ஏதும் இல்லாத நிலேயில் வில்லே இயங்கச் செய்வோமாயின் M என்ற நிறையானது தொடர்ந்து முன்னும் பின்னுமான

சீரிசை இயக்கத்தை மேற்கொள்ளும். x, அதன் பெரும மதிப்பான x_0-லிருந்து குறையத் தொடங்கும்போது நிறையின் நிலையாற்றல் குறைந்து இயக்க ஆற்றல் அதிகமாகும். அடுத்து



படம் 5-7

ஒரு வில்லினை x தொலைவுக்கு நீட்டுவதற்குத் தேவையான விசையை x-ன் சார்பலனாகக் குறிக்கப்பட்ட படம்.

இயக்க ஆற்றல் KE-ல் ஏற்படும் மிகுதிப்பாடானது நிலையாற்றல் U-ல் ஏற்படும் குறைவுக்குச் சமமாகும் என நிறுவுவோம். அதாவது விசை ஏதும் செயற்படுத்தப் படாதபோதோ அல்லது உராய்வு இல்லாதபோதோ KE, U ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகை எப்பொழுதும் மாறாமல் இருக்கும். இது எந்திர ஆற்றல் அழிவின்மை விதி (law of conservation of mechanical energy) எனப்பெறும். இதனை நிறுவுவதற்காக U_0 என்ற தொடக்க நிலை யாற்றலையும் v_0 என்ற தொடக்கத் திசை வேகத்தையும் கொண்டுள்ள M என்ற நிறையைக் கருதுவோம். இந்த நிறை யானது அதன் நிலையை மட்டும் சார்ந்திருக்கக் கூடிய F_C என்ற விசைக்கு உட்படுவதாகக் கொள்வோம். F_C-ன் மதிப்பு மாறாத தாக இருக்கிறது எனக் கருதக்கூடிய அளவுக்கு மிகச்சிறிய தொலை வானது Δx-க்கு M-ன் இயக்கத்தைக் கருதுவோம். அத் தொலைவில் M-ன் முடுக்கம்

$$a = \frac{F_c}{M}$$

இருபக்கங்களையும் $2\Delta x$-ஆல் பெருக்கினால்

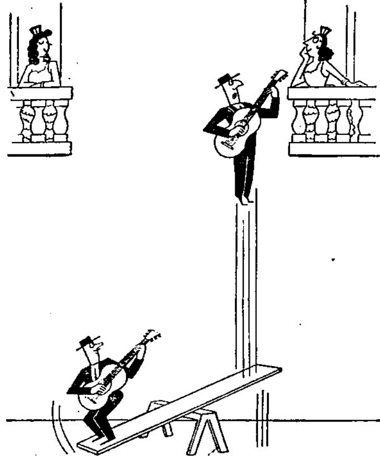
$$2a \,\Delta x = 2\,\frac{F_C \Delta x}{M}$$

சமன் 2.11-ன் படி இடது பக்கம் $v^2 - v_0{}^2$-க்குச் சமமாகும். எனவே

$$v^2 - v_0{}^2 = \frac{2}{M} F_C . \Delta x$$

$\frac{1}{2}Mv^2 - \frac{1}{2}Mv_0^2 = F_c \cdot \Delta x$

$F_c \cdot \Delta x$ என்பது சேமித்து வைக்கப்பட்ட ஆற்றலில் ஏற்பட்ட குறைவு அல்லது $-(U-U_0)$ ஆகும். இதனை மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்



படம் 5-8

ஆற்றல் அழிவின்மைக்கான ஒரு எடுத்துக்காட்டு. ($\frac{1}{2} Mv^2 + Mgh$)-ன் மதிப்பு மாருமல் இருக்கிறது. (Drawing by O. Soglow © 1959 The New Yorker, INC.)

$$\frac{1}{2} Mv^2 - \frac{1}{2} Mv_0^2 = -(U - U_0)$$

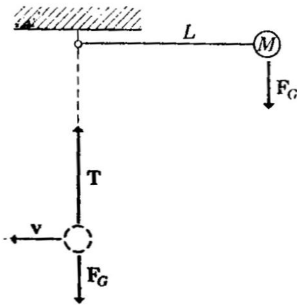
அல்லது $\frac{1}{2} Mv^2 + U = \frac{1}{2} Mv_0^2 + U_0$ (5.3)

எந்திர ஆற்றல் அழிவின்மை

புறவிசை ஏதும் செயற்படாதபோதும் உராய்வு இல்லாதபோதும் இயக்க ஆற்றல், நிலையாற்றல் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகை (இடது பக்கம்) மாருமல் இருக்கிறது என்பதை நாமறிகிறோம்.

மாதிரிக் கணக்கு

M நிறையையுடைய ஒரு ஊசல் குண்டு கிடைமட்ட நிலையிலிருந்து விடப்படுகிறது. ஊசல் கயிற்றின் நீளம் L எனில் குண்டு தாழ்ந்தநிலையை அடையும்பொழுது அதன் திசை வேகத்தையும் கயிற்றின்மீது செயற்படும் விசையையும் கணக்கிடுக.



படம் 5-9

கிடைமட்ட நிலையிலிருந்து விடப்பட்ட ஊசற்குண்டு.

தொடக்க நிலைகளாவன $v_0 = 0$; $U_0 = MgL$. குண்டின் தாழ்ந்த நிலையில் அது செங்குத்தாக L என்ற உயரத்தைக் கடந்துள்ளது; அதன் நிலையாற்றல் $U = 0$. தாழ்ந்த நிலையில் அதன் திசைவேகம் v எனில் சமன் 5-3-ன் படி

$$\tfrac{1}{2}Mv^2 + 0 = 0 + MgL$$

அல்லது $v^2 = 2gL$

$$v = \sqrt{2gL} \qquad (5.4)$$

M-ன் மீது கயிறு செயற்படுத்தும் விசை T-ஆக இருக்கட்டும். இனி, M-ன் மீது செயற்படும் நிகரவிசை

$$F_{நிகர} = T - F_G = Mac$$

ac என்பது M-ன் மைய நோக்கு முடுக்கம் $= \dfrac{v^2}{L}$

$$F_G = Mg \text{ ஆதலால் } T - Mg = M\left(\frac{v^2}{L}\right)$$

சமன் 5-4-லிருந்து v^2-க்கான மதிப்பைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

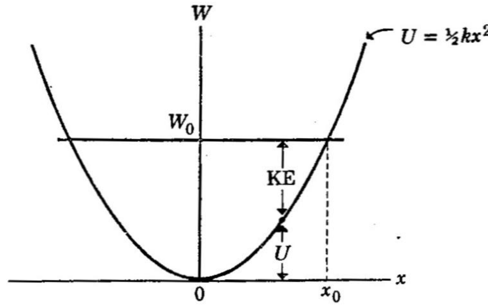
$$T - Mg = M\frac{(2gL)}{L}$$

$$T = 3Mg$$

நிலையாற்றல் வரையுருக்கள் (Potential diagrams)

ஒரு தனி அமைப்புக்கு KE + U எப்போதும் ஒரு நிலையான மதிப்பைப் பெற்றிருப்பதால் நிலையாற்றல் வரையுரு என்ற படத்திலிருந்து KE-ன் மதிப்பை எளிதில் பெறலாம். படம் 5-10-ல் காணப்படும் பரவளையம் (Parabola) நீட்டப்பட்ட வில் ஒன்றின் x-க்கும் U-க்கும் இடையே வரையப்பட்ட வளைகோடு ஆகும். கிடைக்கோடு ஆற்றலின் $W_0 = \frac{1}{2}\,kx_0{}^2$ மதிப்பைக் குறிக்கிறது; அது தொடக்கத்தில் x_0 அளவு நீட்டப்பட்ட வில்லின் ஆற்றலாகும். ஆற்றல் அழிவின்மை விதியின்படி $W_0 = \frac{1}{2}\,kx^2$ + (x-ன் மற்ற மதிப்புக்குரிய KE) ஆகும். வளைகோட்டிலிருந்து கிடைக்கோட்டிற்குள்ள செங்குத்து தொலைவானது x-ன் அம் மதிப்பிற்குரிய இயக்க ஆற்றலாகும். இத் தொலைவு, U (வளைக்கோட்டிலிருந்து x ஆயத்தின் தொலைவு) ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகையானது அமைப்பின் (அளவில்) மாறுமலிருக்க வேண்டிய மொத்த

ஆற்றல் என்பதை கவனிக்கவும். எனவே, நிலையாற்றல் வரையுருவிலிருந்து x-ன் எம் மதிப்பிற்கும் உரிய KE-ன் மதிப்பை உடனே பெறலாம். வில்லின் விசையை விட சிக்கல் நிறைந்த விசைகளைப் பற்றி ஆராயப்படும் பிற்பகுதிகளில் நிலையாற்றல் படங்கள் மிகவும் பயன்படுவதை நாம் காணலாம்.



படம் 5-10

x_0 அளவு நீட்டப்பட்ட வில் ஒன்றிற்கான நிலையாற்றல் வரையுரு

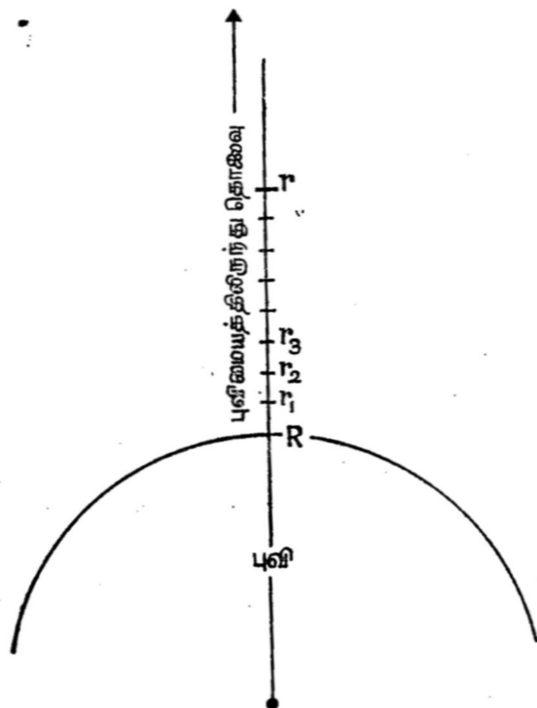
5-7 ஈர்ப்பியல் நிலையாற்றல்

புவியிலிருந்து விடுபடுவதற்குரிய வேலை

வில் ஒன்றை நீட்டுதல் ($U = \frac{1}{2}kx^2$), புவிப்பரப்பில் m என்ற நிறையை தூக்குதல் ($U = mgh$) ஆகியவை நிலையாற்றலுக்கான இதுவரை—கூறப்பட்ட—எடுத்துக்காட்டுகளாகும். இனி, ஒரு நிறையைப் புவிப்பரப்பிலிருந்து மிக அதிகத் தொலைவுக்குத் தூக்குவதான பொது நிகழ்ச்சியைப்பற்றிக் கவனிப்போம். இங்கு ஈர்ப்பு விசையான F_G, நிலையான மதிப்பைக் கொண்டிராமல் புவியின் மையத்திலிருந்து அளவிடப்படும் தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் குறைகிறது. M_e என்பது புவியின் நிறை எனில் $F_G = GM_em/r^2$, இப்பொழுது m என்ற ஒரு நிறையை புவியின் மையத்திலிருந்து R (புவியின் ஆரம்) என்ற தொலைவிலிருந்து r என்ற தொலைவுக்கு நகர்த்துவதில் செய்யப்பட்ட வேலையைக் கணக்கிடலாம். இங்கு, விசையானது நிலையான மதிப்பைக் கொண்டிராமலும் வில்லிலுள்ளதுபோல் தொலைவைப் பொறுத்து சீராக மாறாமலுமிருப்பதால் மேற்கூறப்பட்ட வேலையின் கணக்கீடு அவ்வளவு எளிதல்ல.

இக் கணக்கீட்டில் R-லிருந்து r வரை உள்ள தொலைவை ஒவ்வொன்றிலும் விசை F_G-ன் மதிப்பு மாறாமலிருக்கும் வகையில் மிகச்சிறு இடைவெளிகளாகப் பிரிக்க வேண்டியதாகிறது.

பின்னர் ஒவ்வொரு இடைவெளியிலும் செய்யப்பட்ட வேலைகளைக் கூட்டுவதன் மூலம் முழுத்தொலைவிலும் செய்யப்பட்ட வேலை கிடைக்கப்பெறுகிறது. முதல் இடைவெளியின் தொடக்கத்தில் விசை $F_G = GM_e\,m/R^2$; இறுதியில் $GM_e\,m/r_1{}^2$. F_G-ன் இவ்விரு மதிப்புக்களும் ஏறத்தாழ சமமாகும்; வசதிக்காக அவற்றின் சராசரி மதிப்பான $F_G = GM_e\,m/Rr_1$ என்ற மதிப்பைப் பயன்



படம் 5-11

புவியிலிருந்து m என்ற நிறையை மேலே தூக்குவதில் செய்யப்படும் வேலையைக் கணக்கிட (r-R) என்ற தொலைவு சிறு இடைவெளிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது.

படுத்துவோம். முதல் இடைவெளியில் செய்யப்பட்ட வேலை

$$W_1 = F_G(r_1 - R) = \frac{GM_e\,m}{R\,r_1}\,(r_1 - R)$$

அல்லது $W_1 = GM_e\,m\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r_1}\right)$

இரண்டாவது இடைவெளியில் சராசரி விசை

$$F_G = G\,M_e\,m/r_1\,r_2$$

எனவே $W_2 = \frac{GM_e m}{r_1 r_2}(r_2 - r_1) = GM_e m\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

அவ்வாறே மூன்ருவது இடைவெளியில் செய்யப்பட்டவேலை

$$W_3 = GM_e m\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}\right)$$

முதல் மூன்று இடைவெளிகளிலும் செய்யப்பட்ட வேலைகளைக் கூட்டுவோமாயின்

$$W_1 + W_2 + W_3 = GM_e m\left[\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r_1}\right) + \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}\right)\right]$$

$$= GM_e m\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r_3}\right)$$

கூட்டுத்தொகையில் நடுத்தர மதிப்புக்களான r_1, r_2 ஆகியவை நீங்கி, தொடக்க இறுதி மதிப்புக்கள் மட்டும் (R-ம், r_3-ம்) எஞ்சியிருப்பதைக் காணலாம். r_3-லிருந்து r வரையுள்ள இடைவெளிகளில் செய்யப்பட்ட வேலைகளைக் கூட்டினாலும் இது பொருந்தும். எனவே மொத்த வேலை

$$W = G\,M_e m\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$$

இவ்வேலை m என்ற நிறையைப் புவியீர்ப்புப் புலத்தை (earth's gravitational field) எதிர்த்து r தொலைவு நகர்த்துவதில் செய்யப்பட்ட வேலையாகும். வரையறையின்படி இது புவியீர்ப்புப் புலத்தில் m-ன் ஈர்ப்பியல் நிலையாற்றல் ஆகும்.

ஈர்ப்பியல் நிலையாற்றல் $U = GM_e m\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$ (5.5)

என்பது ஈர்ப்பியல் நிலையாற்றலாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு

R-ஐ ஒப்புநோக்க $(r - R)$ சிறியதாகும்போது U-ன் மதிப்பு mgh-ஐ $h = (r - R)$ நெருங்குகிறது என நிறுவுக.

சமன் 4-4-ன்படி

$$GM_e = gR^2$$

இதனைச் சமன் 5-5-ல் பதிலீடு செய்தால்

$$U = (gR^2)m\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$$

$$U = mgR\,\frac{(r - R)}{r}$$

r ஏறத்தாழ R-க்குச் சமமாகும்போது பகு எண் r-ஐ R-ஆல் பதிலீடு செய்யலாம். எனவே,

$$U = mgR\,\frac{(r - R)}{R} = mg\,(r - R) = mgh.$$

5-8 விடுபடு திசைவேகம்

புவியிலிருந்து தப்பியோடுவது எப்படி

ஒரு ராக்கெட்டின் இயக்கிகள் நிறுத்தப்பட்டவுடன் அதன் இயக்க ஆற்றல், நிலையாற்றல் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகை மாருமல் இருக்கவேண்டும். தொடக்கத்தில், அதன் நிலையாற்றல் சுழியாகும்; ராக்கெட் இயக்கிகள் அதன் இறுதி நிலைக்குக் கொடுத்த திசைவேகம் v எனில் இயக்க ஆற்றல் $\frac{1}{2}\,mv^2$. ராக்கெட் செங்குத்தாக மேல் நோக்கி ஏவப்படின் அது ஒரு பெருமத் தொலைவு r_{max}-ஐ அடையும்வரை அதன் வேகம் குறைகிறது; பின்னர் அது கீழ் நோக்கி விழுகிறது. பெருமத் தொலைவில் ராக்கெட்டின் இயக்க ஆற்றல் முழுதும் ஈர்ப்பியல் நிலையாற்றலாக மாறியுள்ளது. சமன் 5-6-ன்படி தொடக்க இயக்க ஆற்றல்

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgR^2\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r_{max}}\right) \qquad (5\text{-})$$

தொடக்கத் திசைவேகம் v-ஐ அறிவோமாயின் ராக்கெட் செல்லக் கூடிய பெரும உயரத்தையறிய இச் சமன்பாட்டைப் பயன் படுத்தலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு

$v_{3c} = 5$ மைல்/வி என்ற வட்டத் திசைவேகம் கொடுக்கப் பட்ட ராக்கெட் ஒன்று புவிப்பரப்பிற்கு இணையாக ஏவப் படுவதற்கு மாருக செங்குத்தாக ஏவப்படுகிறது. புவியிலிருந்து எவ்வளவு தொலைவு அது செல்லும்?

வட்டத் திசைவேகத்திற்குரிய நிபந்தனையாவது மையநோக்கு முடுக்கம் $v_c^2/R = g$ (பார்க்க பக்கம் 50) ஆகும். எனவே தொடக்க இயக்க ஆற்றல்

$$\frac{1}{2}mv_c^2 = \frac{1}{2}\,mgR$$

இதனைச் சமன் 5.7-ல் பதிலீடு செய்தால்

$$\tfrac{1}{2}mgR = mgR^2\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r_{max}}\right)$$

$$\tfrac{1}{2} = \frac{R}{R} - \frac{R}{r_{max}}$$

$$r_{max} = 2R$$

எனவே, ராக்கெட் அடைந்த பெரும உயரம் 4000 மைல் ஆகும்.

தொடக்க இயக்க ஆற்றல் mgR-க்குச் சமமாகவோ அல்லது அதைவிட அதிகமாகவோ இருக்கும்போது சுவையான நிகழ்ச்சி ஒன்று நிகழ்கிறது. சமன் 5.7-ன் இடது பக்கத்தில் mgR-ஐப் பயன்படுத்தினுல் $1/r_{max} = 0$ அல்லது $r_{max} = \infty$ ஆகும். பௌதிகக் கண்ணுேட்டத்துடன் நோக்குமிடத்து ராக்கெட் ஒருபோதும் திரும்பிவராது. அதாவது, அதன் திசை வேகம் ஒருபோதும் சுழியாகக் குறையாது என்பதை இது குறிக்கிறது. mgR-க்குச் சமமான இயக்க ஆற்றலைத் தரும் திசைவேகத்தின் இம் மதிப்பு தப்பியோடு திசைவேகம், v_R, என அழைக்கப்பெறுகிறது. இயக்க ஆற்றல்

$$\tfrac{1}{2}mv_R^2 = mgR$$

விடுபடுதிசைவேகம் $v_R = \sqrt{2gR}$

விடுபடு திசைவேகம் வட்டத்திசைவேகத்தின் $\sqrt{2}$ மடங்குச் சமமாயிருப்பதைக் கவனிக்க. எனவே, விடுபடு திசைவேகமானது 5 மைல்/வி-ன் 1.414 மடங்கு அதாவது சுமார் 7 மைல்/வி ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு

ராக்கெட் ஒன்றை நிலவுக்கு அனுப்புவதற்குத் தேவையான திசைவேகத்தை விடுபடு திசைவேகத்தின் அடிப்படையில் கணக்கிடுக.

புவியிலிருந்து நிலவின் தொலைவு 60 புவி ஆரங்கள் ஆகும். சமன் 5.7-ல் $r_{max} = 60R$ எனப் பதிலீடு செய்வோமாயின்-

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = mgR^2\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{60R}\right)$$

$$v^2 = 2gR\left(1 - \frac{1}{60}\right)$$

$$v = \sqrt{\frac{59}{60}}\, v_R$$

$$v = 0.99\, v_R$$

நிலவை அடைவதற்குத் தேவையான திசைவேகம் விடுபடு திசைவேகத்தின் 99% ஆகும்.

5-9 உராய்வும் வெப்பமும்

நுண்ணியல் உலகின் ஆற்றல் (Energy of microscopic world) நிலையை மட்டும் சார்ந்திராத பொதுவான விசைகள் பல உள்ளன. காற்று உராய்வு அத்தகைய விசைக்கான ஒரு எடுத்துக்காட்டு ஆகும். காற்று உராய்வு விசைகளும் உராய்வு விசையின் மற்ற வகைகளும் எப்போதும் இயக்கத் திசைக்கு எதிராகவே செயற்படுகின்றன. இந்த உராய்வு விசைகள் திசைவேகத்தின் திசையையும் எண் மதிப்பையும் சார்ந்துள்ளன. மரக்கட்டை ஒன்று சொர சொரப்பான மேசை ஒன்றின் மீது v தொலைவுக்கு மெதுவாக நகர்த்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். கட்டையின் மீது மேசைச் செயற்படுத்தும் உராய்வு விசை F_f என இருக்கட்டும். இனி, இவ்விசையை எதிர்த்து கட்டையை x தொலைவு நகர்த்துவதற்கு செய்யப்பட்ட வேலை $W = F_f \cdot x$ ஆகும். இந்த அளவு ஆற்றல் செலவிடப்பட்ட பின்னர் கட்டையின் இயக்க ஆற்றலோ நிலையாற்றலோ அதிகமாகவில்லை. அந்த ஆற்றல் என்னவாயிற்று? கட்டை நகர்த்தப்படும் போதெல்லாம் சிறிது வெப்பமுண்டாவதை நாம் காணலாம். வெப்பத்தின் அளவை எவ்வாறு அளவிடலாம் என பௌதிகர்கள் முதன் முதலில் அறிந்தபோது உருவாக்கப்பட்ட வெப்பமானது உராய்வு விசைகளை எதிர்த்து செய்யப்பட்ட வேலைக்கு எப்போதும் நேர் விகிதத்திலிருப்பதைக் கண்டார்கள். இவ்விகித மாறிலி வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று (mechanical equivalent of heat) என அழைக்கப்பெறுகிறது. வெப்ப ஆற்றல் என்பது உண்மையில் நாம் சற்று முன்னர் கண்ட இயக்க, நிலை ஆற்றலே என்பதை அடுத்த இயலில் காணலாம். ஆனால் தனித்தனி மூலக்கூறுகளின் இயக்க, நிலை ஆற்றல்களே அவ்வாறு வெப்ப ஆற்றலாகத் தோன்றுகிறது. இவ்வாறாக, வெப்ப ஆற்றலானது பேரளவுப் பொருட்களின் இயக்க, நிலை ஆற்றல்களைப் போல அவ்வளவு வெளிப்படையாகத் தோன்றுவதில்லை.

வழக்கில் இயக்க ஆற்றல், நிலையாற்றல் என்னும் சொற்கள் பேரளவியலாகக் கருதப்படினும் வெப்ப ஆற்றலை நுண்ணியல் இயக்க, நிலை ஆற்றல்களாகக் கருத வேண்டும். ஆற்றல் அழிவின்மைத் தத்துவமானது பெரும்பொருட்களுக்கும் சிறு துகள்களுக்கும் பொருந்துமாதலால் ஆற்றல் அழிவின்மை விதியில் வெப்ப ஆற்றலும் இடம் பெறவேண்டும். எனவே, தனி அமைப்பின் இயக்க, நிலை, வெப்ப ஆற்றல்களின் கூட்டுத் தொகை மாறாமல் இருக்கவேண்டும். Δx தொலைவுக்கு Fapp என்ற புறவிசை ஒன்று செயற்படுத்தப்படுமாயின் ஆற்றல் அழிவின்மை விதியானது

ஆற்றல் அழிவின்மை விதி $F_{app} \cdot \Delta x = \frac{1}{2} Mv^2 - \frac{1}{2} Mv_0{}^2) + (U-U_0) + F_f \cdot \Delta x$ (5-8)

அல்லது

(செய்யப்பட்ட வேலை) = (KE-ல் மிகுதிப்பாடு) + (U-ல் மிகுதிப்பாடு) + வெப்ப ஆற்றல் மிகுதிப்பாடு என்னும் வடிவைப் பெறுகிறது. குறைவு என்பது கணிதவியலாக எதிர்அதிகரிப்பு என்பதை அறிக. M என்ற ஒரு நிறையின் Δx என்ற சிறிய இடப்பெயர்ச்சிக்கு நியூட்டனின் இரண்டாவது விதியைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் சமன் 5-8-ஐப் பெறலாம். நிகரவிசையானது செயற்படுத்தப் பட்ட விசை F_{app} + நிலையாற்றலைக் கொடுக்கக் கூடிய ஏதாவதொரு விசை F_c உராய்வுவிசை F_f ஆகும்.

$$F_{நிகர} = F_{app} + F_c - F_f$$

$$(F_{app} + F_c - F_f) \cdot \Delta x = Ma \cdot \Delta x$$

சமன் 2-11-ன்படி $a \cdot \Delta x$-க்கு $\frac{1}{2}(v^2 - v_0{}^2)$ எனப் பதிலீடு செய்யலாம். எனவே

$$F_{app} \cdot \Delta x + F_c \cdot \Delta x - F_f \cdot \Delta x = M . \tfrac{1}{2}(v^2 - v_0{}^2)$$

$$F_{app} . \Delta x = \tfrac{1}{2} Mv^2 - \tfrac{1}{2} Mv_0{}^2 - F_c . \Delta x + F_f . \Delta x$$

பக்கம் 125-ல் உள்ளவாறு $F_c . \Delta x$ என்பது நிலையாற்றல் குறைவு என்பதைக் காணலாம். எனவே

$$F_{app} \cdot \Delta x = (\tfrac{1}{2} Mv^2 - \tfrac{1}{2} Mv_0{}^2) + (U - U_0) + F_f \cdot \Delta x$$

ஆற்றலைப் பற்றிய விவாதத்தில் இடப்பெயர்ச்சிக்கு இணையான விசைகளை மட்டுமே பயன்படுத்தியுள்ளோம். எனினும் மேற் கூறப்பட்ட கணக்கீட்டை F, Δx ஆகியவை இணையாக இல்லாத பொதுவான நிகழ்ச்சிக்கும் பொருந்துமாறு எளிதில் மாற்றி அமைத்துக் கொள்ளலாம். மாறுதல் என்னவெனில் ஒவ்வொரு விசைக்குப் பதிலாக Δx-ன் வழியே அவ்விசையின் ஆக்கக்கூறைப் பதிலீடு செய்வதாகும். எனவே, பொதுவாகக் கூறுமிடத்து வேலை என்பது இடப்பெயர்ச்சி, இடப்பெயர்ச்சியின் திசையில் விசையின் ஆக்கக்கூறு ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனாகும். இதன் காரணமாகவே மையநோக்கு விசைகள் வேலை செய்வதில்லை. விசையானது இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர்குத்தாய் அமையுமாயின் வேலை செய்யப்படுவதில்லை.

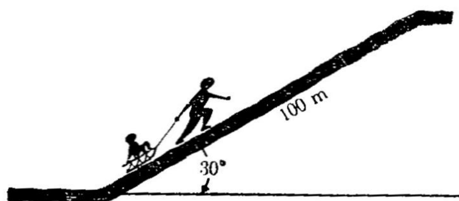
மாதிரிக் கணக்கு 1

ஒரு சிறுவன் மற்றும் அவனது பனிச்சறுக்கு வண்டியின் நிறை 20 கி.கி. பனித்தளம் 50 நியூட்டன்கள் உராய்வு விசையை அளிக்கிறது.

(*a*) சிறுவனையும் வண்டியையும் 30° வாட்டத்தின் வழியே 100 மீட்டர் தூரம் இழுப்பதற்கு எவ்வளவு வேலை தேவைப்படும்.

(*b*) உச்சியை அடைந்தபின் அச்சிறுவன் வண்டியின் உதவியால் கீழ்நோக்கிச் சறுக்குகிறான். அடியை அடையும்போது அவனது திசைவேகம், இயக்கஆற்றல் ஆகியவை யாவை?

குன்றின் உச்சியை நோக்கிச் சறுக்கு வண்டியை இழுப்பதில் செய்யப்படும் வேலையானது இயக்கஆற்றல் மிகுதிப்பாடு (சுழியாகும்)+ U-ல் ஏற்படும் மிகுதிப்பாடு (Mgh) + வண்டி இழுக்கப்



படம் 5-12

புவியீர்ப்பையும் உராய்வையும் எதிர்த்து சறுக்கு வண்டியை இழுப்பதில் வேலை செய்யப்படுகிறது.

பட்ட தொலைவின் F_f மடங்கு ஆகும். எனவே, சமன் 5–8-ன் படி

(செய்யப்பட்ட வேலை) $= 0 + Mgh + F_f \cdot s$

$s = 100$ மீட்டர், $h = 50$மீ, $F_f = 50$ நியூட்டன்கள்

(செய்யப்பட்ட வேலை) $= (20 \times 9{\cdot}8 \times 50 + 50 \times 100)$ ஜூல்கள்

$= (9800 + 5000)$ ஜூல்கள்

$= 14{,}800$ ஜூல்கள்

(*b*) பகுதியில் செய்யப்பட்ட வேலை சுழியாகும்; நிலையாற்றல் குறையும். இருபகுதியிலும் உருவாக்கப்பட்ட வெப்ப ஆற்றல் ஒரே அளவாக (5000 ஜூல்கள்) இருக்கும். எனவே, குன்றின் அடியை நோக்கி இறங்கும்போது சமன் 5-8-ன்படி

$0 = \frac{1}{2}Mv^2 - 9800$ ஜூல்கள் $+ 5000$ ஜூல்கள்

$\frac{1}{2}Mv^2 = 4800$ ஜூல்கள் இயக்க ஆற்றல்.

திசைவேகம்

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 4800 \text{ ஜூல்கள்}}{M}}$$

$v = 21.9$ மீ/வி

மாதிரிக் கணக்கு 2

1 கி.கி நிறையுள்ள புவித் துணைக்கோள் ஒன்று புவி மண்டலத்துள் நுழையும் தருவாயில் 30 கி.மீ. உயரத்தில் புவியைச்சுற்றி வருகிறது. புவிமண்டலத்துள் நுழையும்போது எவ்வளவு வெப்ப ஆற்றல் உருவாகும்?

இக் கணக்கில் வட்டத்திசை வேகம் $v_0 = 8$ கி.மீ./வி; $U - U_0 = -Mgh$ ($h = 30$ கி.மீ.) எனவே, சமன் 5.8-ன்படி

$$0 = (0 - \tfrac{1}{2}Mv_0^2) - Mgh + \text{வெப்ப ஆற்றல்}$$

அல்லது வெப்ப ஆற்றல் $= \frac{1}{2}Mv_0^2 + Mgh$

ஆற்றல் அழிவின்மை விதியின்படி தொடக்க இயக்க ஆற்றலும் நிலையாற்றலும் வெப்ப ஆற்றலாக மாறுகின்றன. எண் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\text{வெப்ப ஆற்றல்} = \tfrac{1}{2}(8 \times 10^3)^2 + 9.8 \times 3 \times 10^4 \text{ ஜூல்கள்}$$

$$= 32 \times 10^6 + 0.29 \times 10^6 \text{ ஜூல்கள்}$$

$$= 32.3 \times 10^6 \text{ ஜூல்கள்.}$$

இக் கணக்கு துணைக்கோளானது புவிமண்டலத்துள் மீண்டும் நுழையும்போது ஏற்படும் முக்கியமான பிரச்சினையை—கோள் சூடாக்கப்படுவதை விளக்குகிறது. காட்டாக, வெப்ப ஆற்றலில் ஏற்படும் ஒவ்வொரு 10^3 ஜூல் மிகுதிப்பாட்டிற்கும் 1 கி.கி. அலுமினியம் 1°c அளவு சூடேறுகிறது. புவி மண்டலத்துள் நுழையும்போது உருவாகும் வெப்பத்தில் 1% மட்டும் அலுமினியத் துணைக்கோளைச் சூடேற்றுவோமாயின் அதன் வெப்பநிலை 300°c உயரும் என்பதை நாம் காண்கிறோம்.

5-10 நிறையும் ஆற்றலும் சரிநிகர்

சிறுமணலில் பேராற்றல் பெறுவதற்கில்லை

இவ்வியலின் கடைசி இரு பகுதிகளிலும் நம்மைச் சுற்றி அளப்பரிய ஆற்றல் இருக்கிறது; ஆனால் அதை ஒருபோதும் பயன்படுத்த முடியாத நிலையில் அது இருக்கிறது என நாம் காண்போம். சமன் 3.6-க்கான விவாதத்தில் கூறியுள்ளவாறு சார்புக் கொள்கையின்படி ஒரு பொருளின் திசைவேகமோ அல்லது ஆற்றலோ அதிகரிக்கும்போது அதன் நிறையும் அதிகரிக்கும். நிறை அதிகரிப்புக்கும் ஆற்றல் அதிகரிப்புக்கும் தொடர்பு எளிய ஒன்றாக அமைகிறது. சார்புக் கொள்கையின்படி

$$\Delta M = \frac{\Delta W}{C^2}$$

என ஐன்ஸ்டீன் கண்டார். ΔM என்பது ஆற்றல் அதிகரிப்பு ΔW-க்குரிய நிறை அதிகரிப்பாகும். $C = 3 \times 10^8$ மீ/வி என்பது ஒளியின் வேகம் எனில் நிறை M-க்குரிய முழு ஆற்றல்

ஐன்ஸ்டீன் நிறை-ஆற்றல் தொடர்பு $W = Mc^2$ (5.9)
ஆக இருக்க வேண்டுமென ஐன்ஸ்டீன் கூறினர்.

இதன்படி 1கி.கி மணல் 1 கி.கி $\times (3.0 \times 10^8$ மீ/வி$)^2$ அல்லது 9×10^{16} ஜூல்கள் ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கவேண்டும். இது ஒவ்வொரு வாரமும் அமெரிக்க ஐக்கிய மாகாணங்களால் செலவிடப்படும் மின்னுற்றலைப்போல் ஏறத்தாழ இருமடங்காகும்.

மணலிலோ வேறெந்த பொருளிலோ இத்தகைய அளப்பரிய ஆற்றல் இருப்பினும் அது நமக்குக் கிட்டாத நிலையில் உள்ளது. நிறையிலிருந்து ஆற்றலைப் பெறுவதென்பது முதுகொள்கையான நிறை அழிவின்மைவிதிக்கு முற்றிலும் புறம்பானது. அவ்விதியின்படி நிறையை ஆக்கவோ அழிக்கவோ முடியாது. எனினும், இது உண்மையன்று என்பதனை நாம் இப்போது அறிவோம். மணலிலிருந்து ஆற்றலைப் பெறுவதைத் தடைசெய்யும் நிறை அழிவின்மை விதியின் நவீன பதிப்பினை(version)ப் பற்றி அடுத்த பிரிவில் காணலாம். ஓய்வு நிறையும் ஆற்றலும் எதிர் ரெதிர் (vice versa) மாற்றங்கள் அடைவதற்கான எடுத்துக் காட்டுகளும் உள்ளன. (ஒரு துகளின் ஓய்வுநிறை என்பது அதன் திசைவேகம் சுழியாக உள்ளபோது அதன் நிறையாகும்). காட்டாக பருப்பொருளானது உயர் ஆற்றல் புரோட்டான் களால் தாக்கப்படும்பொழுது எண்ணற்ற புதுவகை அடிப்படைத் துகள் உருவாக்கப்படுகின்றன (16ஆம் இயல் பார்க்க). அத்தகைய நிகழ்ச்சியில் உயர்ஆற்றல் புரோட்டான்களின் இயக்க ஆற்றலானது அத் துகள்களின் ஓய்வு நிறையாக நேரடியாக மாற்றப்படுகிறது. அத்தகைய துகள்களுள் சில சிதைவுற்று அவற்றின் ஓய்வு நிறையைச் சிதைவினல் விளையும் துகள்களின் இயக்க ஆற்றலாக மாற்றுகின்றன; இந்நிகழ்ச்சி ஓய்வு நிறை யானது ஆற்றலாக மாறுவதற்கான எடுத்துக்காட்டாகும். சமன் 5-9-ன் படி இயக்க ஆற்றலும் ஒரு நிறையைக் கொண்டிருக்கவேண்டும் என்பதையும், கண்டிப்பாக கூறுமிடத்து நிறையை ஆற்றலாகவும் ஆற்றலை நிறையாகவும் மாற்றமுடியும் என்று கூறுவது சரியல்ல என்பதையும் நாம் நினைவில் கொள்ள வேண்டும். அண்டத்தில் உள்ள ஆற்றலின் அளவு மாறாமல் இருக்க வேண்டுமாதலால் சமன் 5-9-ன் படி அண்டத்தில் உள்ள மொத்த

நிலைமநிறையின் அளவும் மாறாமல் இருக்கவேண்டும். அழியாமல் இருக்கக் கூடிய நிறை ஓய்வு நிறையேயாகும். ஓய்வு நிறையையே ஆற்றலாகவும் ஆற்றலை ஓய்வு நிறையாகவும் மாற்றமுடியும். அத்தகைய மாற்றங்களில் கூட கடுமையான கட்டுப்பாடு ஒன்று உள்ளது; அதனைப்பற்றி அடுத்த பிரிவில் காண்போம்.

5-11 கனத் துகள்களின் அழிவின்மை

யாண்டும் புரோட்டானும் நியூட்ரானும்

சாதாரண பருப்பொருள் அணுக்களாலானது. அணுக்களோ குறிப்பிட்ட பாதைகளில் வலம்வரும் எலெக்ட்ரான்களால் சூழப் பட்ட அணுக்களாலானவை. அணுக்கருக்கள் எலெக்ட்ரான்களை விட ஏறத்தாழ 1800 மடங்கு எடைமிக்க புரோட்டான்களாலும் நியூட்ரான்களாலும் ஆனவை. எந்தவொரு தனிஅமைப்பிலு முள்ள புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்களின் மொத்த எண்ணிக்கை மாறாமலிருக்கவேண்டும் என கனத் துகள்கள் அழிவின்மை விதி (Law of conservation of heavy particles) கூறுகிறது. எனினும் இணைவு (Fusion), பிளவு (fission) அணுக்கருமாற்றம் (Nuclear transformation) போன்ற நிகழ்ச்சிகளில் இப் புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும், ஒன்றுக்கொன்று வன்மையான செயலெதிர்ச் செயல்களில் ஈடுபடுகின்றன என 15, 16ஆம் இயல்களில் கூறப்பட் டிருப்பதைக் காணலாம். உண்மையில் நியூட்ரான்களும், புரோட் டான்களும் எதிரெதிர் மாற்றங்களுக்கு உள்ளாகலாம். எனினும் இத்தகைய எல்லாவித அணுக்கரு நிகழ்ச்சிகளிலும் புரோட்டான் கள், நியூட்ரான்களின் மொத்த எண்ணிக்கை மாறாமல் இருப்பது காணப்பட்டது. ஒரு புரோட்டான் அல்லது நியூட்ரானின் ஓய்வு நிறையானது மற்றவகை ஆற்றல்களாக மாறியதை இதுவரை யாரும் கண்டறியவில்லை. கனத் துகள்கள் அழிவின்மை விதி யானது பெருமளவு சோதனைச்சான்றுகளை ஆதாரமாகக் கொண் டுள்ளது. இவ்விதியின்படி ஒரு பிடி மணலிலுள்ள மிகப்பெரும் ஆற்றலை நாம் ஒருபோதும் பயன்படுத்திக்கொள்ள முடியாது.

மாறாக, ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்குட்பட்ட அணு ஆற்றலை நாம் பெறமுடியும். அணுக்கருக்களில் புரோட்டான்களும் நியூட் ரான்களும் ஒன்றையொன்று வலிமைமிக்க விசைகளால் ஈர்க் கின்றன. இந்த அணுக்கருவிசைகள் ஒவ்வொரு அணுக்கருவிற்கும் மிகுந்த அளவு நிலையாற்றலை அளிக்கின்றன. அணுக்கரு இணைவு, பிளவு போன்ற நிகழ்ச்சிகளில் இந்த நிலையாற்றலில் ஓரளவை இயக்கஆற்றல்களாக மாற்ற முடியும். இதுவே, அணுக்குண்டுகள், அணுஉலைகள் ஆகியவற்றின் ஆற்றல் மூலமாகும். இவற்றைப் பற்றிய தலைப்புகளும் கனத் துகள்கள் அழிவின்மை விதியை

எதிர்ப்பொருளுக்கும் (Anti matter) ஏனைய அடிப்படைக் கனத் துகள்களுக்கும் பயன்படுத்தலும் 15, 16ஆம் இயல்களில் கூறப் பட்டுள்ளன.

கணக்குகள்

1. படம் 5.3-ல் உள்ள குறடு கிடைமட்டத்திற்கு 45° கோணத்தில் காற்றில் எறியப்படுவதாகக் கொள்வோம். அதன் நிறை மையத்தின் பாதை என்னவாக இருக்கும்?

2. அண்டத்தின் மாறுநிலைக்(Steady state) கொள்கையானது நியூட்ரான்கள் (மிகக் குறைந்த வீதத்தில்) தானாகவே உருவாக்கப் படுகின்றன எனக் கூறுகிறது. இது எந்தெந்த அழிவின்மை விதி களுக்கு முரண்படுகிறது?

3. மல்லாந்த நிலையில் மேலிருந்து கீழாக போடப்பட்ட ஒரு பூனை எப்போதும் நேராகத் தரையிலிறங்குகிறது. இது கோண உந்த அழிவின்மை விதிக்கு முரண்பட்டதா?

4. சுழன்று கொண்டிருக்கும் பம்பரம் ஒன்றைக் கையால் பற்றினால் அது நின்றுவிடுகிறது. அதன் கோண உந்தம் என்ன வாயிற்று? (குறிப்பு: சுழலும் மேசைமீது நின்றுகொண்டிருக்கும் ஒரு மனிதனால் இது செய்யப்பட்டதாகக் கருதுக).

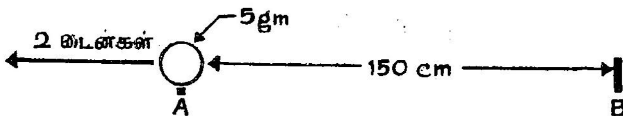
5. சீரான மீட்டர் கோல் ஒன்றின் நிறை 100 கி. அதன் 100 செ.மீ. அளவீட்டில் 50 கி. நிறை ஒன்று தொங்கவிடப்படு கிறது. நிறை மையத்தின் அளவீடு என்ன?

6. 0.8 மீட்டர் விட்டமுள்ள சைக்கிள்சக்கரம் ஒன்றின் நிறை 1.5 கி.கி. சைக்கிளின் வேகம் 3மீ/வி ஆக இருக்கும்போது சைக்கிள் சக்கரத்தின் கோண உந்தம் எவ்வளவு? (ஆரைக்கம்பி களின் (Spokes) நிறையைப் புறக்கணிக்க).

7. மணிக்கு 60 மைல் வேகத்தில் ஒரு கார் சென்றுகொண்டி ருக்கிறது. அதன் இயக்க ஆற்றல் இரட்டிப்பாக வேண்டுமாயின் அது இன்னும் எவ்வளவு வேகமாகச் செல்லவேண்டும்?

8. உச்சிமுனையில் கனமான நிறை ஒன்று பொருத்தப்பட்ட இலேசான மீட்டர்கோல் ஒன்று அதன் அடிமுனையில் சுழலுமாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளது. கோலை விடுவித்தால் நிறையானது 2 மீட்டர் விட்டமுள்ள ஒரு வட்டத்தின் வழியே இயங்கும். நிறையின் பெருமத் திசைவேகம், பெரும மையநோக்கு முடுக்கம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

கணக்கு 9



9. 5 கி. நிறையொன்று A என்ற புள்ளியிலிருந்து B என்ற புள்ளிக்கு நகர்த்தப்படுகிறது. A-லிருந்து Bவரை உள்ள பகுதியில் அது இடதுபக்கம் நோக்கும் 2 டைன்கள் மதிப்புள்ள, மாறுத நிலை மின்னியல் விசை ஒன்றுக்கு உட்படாததாகக் கருதுக. நிறையை A-லிருந்து B-க்கு நகர்த்த எவ்வளவு வேலை செய்ய வேண்டும்? அதன் நிலையாற்றல் அதிகமாகிறதா, குறைகிறதா அல்லது மாறுமல் இருக்கிறதா?

10. (a) மூன்று மீட்டர் நீளமும் 0·5 மீ. உயரமும் உள்ள ஒரு உராய் சாய்தளத்தின்மீது 10 கி. நிறையொன்றை மேல் நோக்கி தள்ளுவதற்குத் தேவையான வேலை எவ்வளவு?

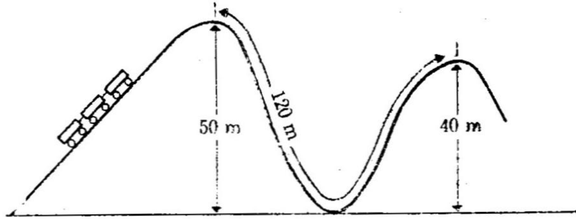
(b) நிறைக்கும் சாய்தளத்திற்குமிடையேயுள்ள உராய்வு விசை 700 டைன்கள் எனக் கொள்க. நிறையைச் சாய்தளத்தில் மேல்நோக்கி நகர்த்துவதற்கு எவ்வளவு விசை தேவைப்படும்?

(c) நிறையைத் தளத்தின் மீது மேல்நோக்கி நகர்த்துவதற்கு 3000 டைன்கள் விசையொன்று செயற்படுத்தப்படுமானுல் (உராய்வு விசை b-ல் உள்ளதுபோல் எனக் கொள்க) நிறையானது தளத்தின் உச்சியை அடையும் போது அதன் திசை வேகத்தைக் கணக்கிடுக.

11. 800 கி. நிறை உடைய பொம்மை ரயில் ஒன்று 100 டைன்கள் மதிப்புள்ள மாறுத விசை ஒன்ருல் இழுக்கப்படுகிறது. ரயிலானது முதலில் ஓய்விலிருந்து தொடங்கி v_0 என்ற சீரான திசைவேகத்தையடைகிறது. ஒவ்வொரு வினடியும் 2×10^3 எர்குகள் வேலை செய்யப்படின் v_0-ன் மதிப்பு என்ன? (ஒவ்வொரு 2000 எர்குகள் வேலையைச் செய்ய ரயில் எவ்வளவு தூரம் செல்ல வேண்டும்?)

12. மலைப்பாதை ஒன்று 50 மீட்டர் உயரத்திற்கு ஏறுகிறது. அடுத்த ஏற்றம் 120 மீட்டர் தொலைவில் 40 மீட்டர் உயரம் உள்ளது, 500 கி.கி. கார் ஒன்றின் மீது செயற்படக்கூடிய உராய்வு விசையின் பெரும மதிப்பு என்ன ? (அதனைவிட F_f அதிகமிருப்பின் அது இரண்டாவது ஏற்றத்தின் உச்சியை அடைய முடியாது).

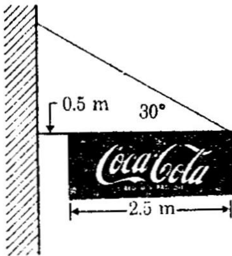
கணக்கு 12



13. மூன்றாவது இயலில் *10*-வது கணக்கில் கூறப்பட்ட மோதலில் எவ்வளவு இயக்க ஆற்றல் இழப்பு ஏற்படுகிறது? இழந்த ஆற்றல் என்னவாயிற்று?

14. மூன்றாவது இயலில் *14*-வது கணக்கில் M_1 நிறையானது 50 செ.மீ தொலைவு நகர்ந்தபின் அதன் திசைவேகம் என்ன? (குறிப்பு: இரு நிறைகளின் தொடக்க, இறுதி நிலையாற்றல்களைக் கணக்கிடுக).

15. *114*-வது பக்கத்தில் கூறப்பட்ட மூன்று இருமுனைப் பளுக்கள் எடுத்துக்காட்டில் இருமுனைப் பளுக்களின் தொடக்க, இறுதி இயக்க ஆற்றல்களைக் கணக்கிடுக. ஒவ்வொரு இருமுனைப் பளுவின் நிறை *20* கி.கி ஆகும்.



கணக்கு 16

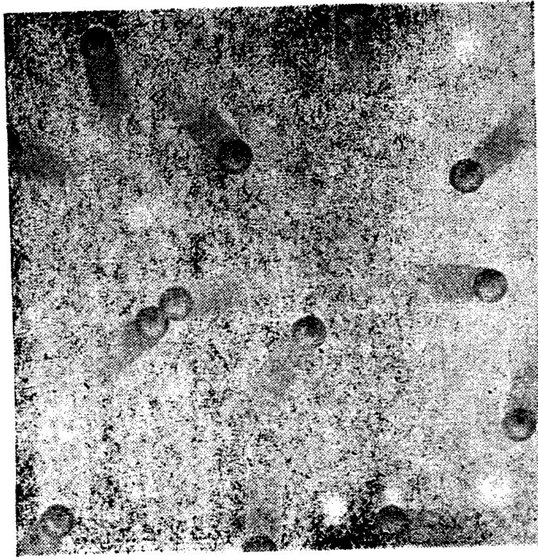
16. *15* கி.கி. விளம்பரப் பலகை ஒன்று ஒரு கம்பியின் மூலம் படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. கம்பியின் இழுவிசையையும் பலகை சுவற்றின்மீது செயற்படுத்தும் விசையையும் கணக்கிடுக.

17. எல்லாவகைச் சீரிசை இயக்கங்களுக்கும் $U = \frac{1}{2} kx^2$ $(k = F/x)$ x_0 என்பது பெரும இடப்பெயர்ச்சி எனின் ஒரு இலகு ஊசலின் பெரும நிலையாற்றலை $M.g$, L, x_0 ஆகியவற்றின் அடிப்படையிலும் பெருமதிசை வேகத்தை g, L, x_0 ஆகியவற்றின் அடிப்படையிலும் கூறுக.

18. கணக்கு 2-ல் உள்ள ஏணியின் நிறை 15 கி.கி என்றால் அது நழுவுமுன் அதன்மீது மனிதன் எவ்வளவு தொலைவு ஏற முடியும்?

19. 10 கி.கி ஏணி ஒன்று உராய்வற்ற சுவர் ஒன்றின்மீது 45° கோணத்தில் சாய்ந்துள்ளது. சுவற்றின் மீது ஏணியின் விசை என்ன ?

20. 92 புரோட்டான்களையும் 143 நியூட்ரான்களையும் கொண்ட ஒரு குறிப்பிட்ட யுரேனியம் அணுக்கரு ஒரு நியூட்ரானை உட்கவர்ந்து 2 பிளவுக் கூறுகளாகவும் 4 நியூட்ரான்களாகவும் பிளவுபடுகிறது. ஒரு பிளவுக்கூறு C_s^{137} (55 புரோட்டான்களும் 82 நியூட்ரான்களும்) எனில் மற்ற பிளவுக்கூறில் எத்தனை புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் இருக்கும்?



இயக்கக் கொள்கை
(The Kinetic Theory)

இயல் 6

6. இயக்கக் கொள்கை

இயக்கக் கொள்கையானது வாயு மூலக் கூறுகளுக்குரிய விசையியல் விதிகளின் அடிப்படையில் வாயுக்களின் பேரளவுப் பண்புகளை விளக்குகிறது. இயக்கக் கொள்கையைப் பற்றிக் கூறுமுன் அடர்த்தி, அழுத்தம் போன்ற பேரளவுக் கருத்துக்களில் சிலவற்றைப் பற்றிக் கூறுவோம்.

அட்டவணை 6-1 அடர்த்திகளின் அட்டவணை

பொருள்	அடர்த்தி : கி/செ.மீ.^{3}-ல்
அணுக்கருப் பொருள்	2×10^{14}
சூரியனின் மையம்	100
பிளாட்டினம்	21.4
தங்கம்	19.3
பாதரசம்	13.6
காரீயம்	11.3
இரும்பு	7.8
புவி	5.0
அலுமினியம்	2.7
நீர்	1.0
பனிக்கட்டி	0.92
பால்ச மரம் (Balsa wood)	0.13
காற்று	0.0013
மனிதன் உருவாக்கக்கூடிய மிகச் சிறந்த வெற்றிடம்	10^{-19}
விண்வெளியிடம்	10^{-24}
விண்மீன் மண்டல இடைவெளி	10^{-30}

6-1 அடர்த்தி

நீரே இசைவானது

ஒரு பொருளின் நிறை M, பருமன் (Volume) V எனில் M/V என்ற விகிதம் அப்பொருளின் அடர்த்தி எனப்பெறுகிறது.

$$D = \frac{M}{V} \qquad (6\text{-}1)$$

மெட்ரிக் முறை உருவாக்கப்பட்டபோது நிறைக்கான படித் தர அலகு ஒன்றைத் தீர்மானிக்க வேண்டியிருந்ததை நாம் நினைவு கூறலாம். நிறையின் அலகான கிராம் 1 க.செ.மீ. நீரிலுள்ள நிறை என வரையறுக்கப்பட்டது. எனவே, நீரின் அடர்த்தியானது 1 கி./செ.மீ.^{3} ஆகும். MKS முறையில் நீரின் அடர்த்தியானது

$$D_{\text{நீர்}} = \frac{1\ \text{கி.}}{(1\ \text{செ.மீ.})^3} = \frac{10^{-3}\ \text{கி.கி.}}{(10^{-2}\ \text{மீ.})^3} = 10^3\ \frac{\text{கி.கி.}}{\text{மீ.}^3}$$

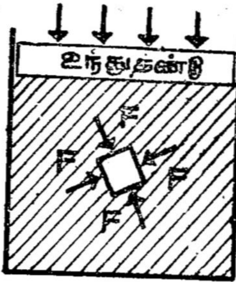
அட்டவணை 6-1 பல்வேறு பொருட்களின் அடர்த்திகளைக் குறிக்கிறது.

6-2 அழுத்தம்

பரப்பு ஒன்றின்மீது செயற்படும் விசை

பாத்திரம் ஒன்றில் வைக்கப்பட்ட ஒரு பாய்மம் (Fluid-திரவம் அல்லது வாயு) பாத்திரத்தின் பரப்பில் ஒவ்வொரு சிறுஅளவிலும் ஒரு செயற்படுத்தும். காட்டாக பலூன் ஒன்றிலுள்ள வாயுவைக் கருதுவோம். பலூனுக்குள் காற்றைத் தொடர்ந்து ஊதிக் கொண்டே இருப்போமாயின் அது உடையுமளவுக்கு அதன் ரப்பர்மீது செயற்படும் விசையானது பெருமளவு உயரும்வரை காற்றின் அழுத்தம் அதிகமாகிறது. **ஒரு பாத்திரத்தின் ஓரலகுப் பரப்பின்மீது செயற்படும் விசை பாய்மத்தில் அழுத்தம் P என வரையறுக்கப்படுகிறது.**

$$\text{அழுத்தம்} \quad P = \frac{F}{A} \qquad (6\text{-}2)$$



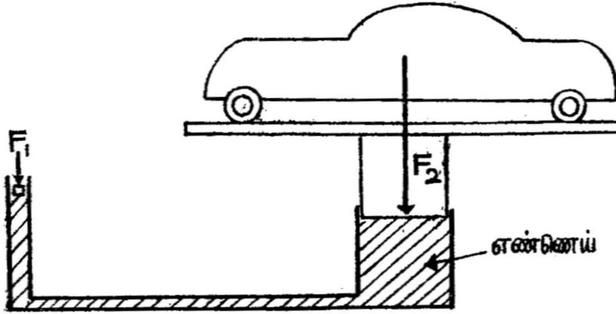
படம் 6-1.
P அழுத்தத்திற்குட்பட்ட பாய்மத்தினுள் அமிழ்த்தப்பட்ட கனசதுரத்தின்மீது விசைகள்.

அழுத்தமானது CGS முறையில் டைன்கள்/செ.மீ^{3} எனவும் MKS முறையில் நியூட்டன்கள்/மீ^{2} எனவும் அளவிடப்படுகிறது. பாய்மத்தோடு தொடர்பு கொண்டுள்ள பரப்பு எந்நிலையில் இருப்பினும் விசையானது எப்போதும் அப்பரப்பிற்கு நேர்குத்தாகவே செயற்படுகிறது. ஒவ்வொன்றும் A பரப்புடைய மெல்லிய உலோகத் தகடுகளாலான ஒரு உள்ளீடற்ற கனசதுரத்தை P அழுத்தத்திற்குட்பட்ட ஒரு பாய்மத்தினுள் அமிழ்த்துவதாகக் கொள்வோம். கனசதுரம் எந்நிலையிலிருந்தாலும் கன சதுரத்தின் ஒவ்வொரு பரப்பின் மீதும் செயற்படும்

விசை $F = PA$ ஆகும். நிலையாக உள்ள பாய்மத்தின் எந்தவொரு சிறு பகுதியிலும் அழுத்தமானது எல்லா திசைகளிலும் ஒரே அளவுடையதாய் இருக்கும். அவ்வாறில்லையாயின் ஒரு சிறு கனசதுரப் பாய்மத்தின்மீது ஒரு நிகரவிசைச் செயற்பட்டு அது நகரத் தொடங்கும். ஈர்ப்பு விசையைப் புறக்கணிப்போமாயின் பாய்மம் அடங்கிய கலத்தின்மீது செயற்படுத்தும் அழுத்தம் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் ஒரேயளவாயிருப்பதோடு பாத்திரத்தின் வடிவத்தை சார்ந்திராது.

மாதிரிக் கணக்கு

கார் ஒன்று படம் 6-2-ல் காட்டியவாறு இரு உந்து தண்டுகளையுடைய நீராற்றல் பம்பு (hydraulic pump) மூலமாகத் தூக்கப்படுகிறது. பெரிய உந்து தண்டின் விட்டம் 1 மீட்டர், சிறியதின் விட்டம் 10 செ.மீ. காரின் எடை F_G எனில் அதனைத் தூக்குவதற்கு சிறிய உந்து தண்டின்மீது செயற்படுத்தவேண்டிய மிகச் சிறிய விசை என்ன?



படம் 6-2

நீராற்றல் பம்பு ஒன்றின் இரு உந்து தண்டுகளின் மீதான விசைகள்

இரு உந்து தண்டுகளும் ஒரே கலத்தின் சுவற்றின் இருவேறு பகுதிகளாதலால் அவை ஒரே அளவு அழுத்தத்திற்குள்ளாகும். $P_1 = F_1/A_1$ அடர்த்தி என்பது சிறிய உந்து தண்டின் மீதுள்ள அழுத்தம் எனவும் $P_2 = F_2/A_2$ என்பது பெரிய உந்து தண்டின் மீதுள்ள அழுத்தம் எனவும் கொள்வோம்.

$P_1 = P_2$ ஆதலால்

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

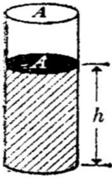
$$F_1 = F_G \frac{A_1}{A_2}$$

உந்து தண்டுகளின் பரப்பளவுகள் அவற்றின் விட்டங்களின் இரு மடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதால் $A_1/A_2 = 1/100$. எனவே F_1 விசையானது காரின் எடையில் 1 சதவீதமே இருக்கும்.

6-3 நிலைப்பாய் பொருளியல்

நிலையான திரவம்

ஒரு திரவம் ஈர்ப்பு விசைக்கு உட்பட்டிருக்கும்பொழுது மேலிருக்கும் திரவத்தின் எடையானது கீழிருக்கும் திரவத்தின் மீது புறவிசை யொன்றைச் செயற்படுத்துகிறது. இதன் காரண மாக நீரினுள் அழுத்தமானது ஆழத்தைப் பொறுத்து அதிகமாகிறது. A அலகு பரப்பள வுள்ள உருளை ஒன்றினுள் h உயரத்திற்கு இருக்கும் D அலகு அடர்த்தியுள்ள திரவம் ஒன்றைக் கருது வோம். உருளையின் அடித்தளத்தில் செயற்படும் விசையானது g, திரவத்தின் நிறையான $M_{\text{திரவம்}}$ ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனாகும்.



படம் 6-3. h உயரமும் A அலகு பரப்புமுள்ள திரவத் தம்பம்.

$$F = (M_{\text{திரவம்}})\, g$$

சமன் 6.1-ன்படி திரவத்தின் நிறையானது அதன் பருமனின் (Ah) D மடங்காகும். எனவே

$$F = (DAh)\, g$$

இச் சமன்பாட்டின் இருபுறங்களையும் Aஆல் வகுக்க அழுத்தம் கிடைக்கிறது.

$$\frac{F}{A} = \frac{DAhg}{A}$$

அல்லது $P = Dgh$ (6-3)

இந்த வாய்பாடு A-யையோ கலத்தின் வடிவத்தையோ சார்ந் திருக்கவில்லை. அது, திரவத்தின் எடை காரணமாக h ஆழத்தில் உள்ள அழுத்தத்தைத் தருகிறது. கலத்தின் வடிவம் எவ்வாறாயி னும் அதே ஆழத்தில் உள்ள இரு புள்ளிகளில் அழுத்தம் ஒரே அளவாய் இருக்கும்.

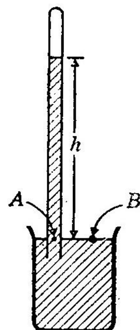
வளி அழுத்தம்

புவியின் வளிமண்டலம் ஒரு சில நூறு கிலோ மீட்டர் உயரம் கொண்டுள்ளது. சமன் 6-3-ன்படி புவிப்பரப்பின் மீது ஒரு அழுத்தம், P_0, இருக்கவேண்டும். அதன் மதிப்பானது வளி மண்டலத்தின் உயரம் g மற்றும் வளி மண்டலத்தின் உயரத்தைப் பொறுத்த சராசரி அடர்த்தி ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனுக்குச் சமமாகும். அதன் எண்மதிப்பு

$$P_0 = 1.01 \times 10^6 \text{ டைன்கள்/செ.மீ.}^2$$

பாரமானி

பாதரசம் ($D = 13.6$ கி./செ.மீ³) நிரப்பிய குழாய் ஒன்றை பாதரசம் நிரம்பிய முகவை ஒன்றினுள் படம் 6-4-ல் காட்டியுள்ளவாறு தலைகீழாக நிறுத்துவதாகக் கொள்வோம். A, B ஆகிய இரு புள்ளிகளும் ஒரே உயரத்தில் இருப்பதால் அவற்றில் அழுத்தம் ஒரே அளவாய் இருக்கும். h என்பது பாதரசத் தம்பத்தின் உயரமெனில் சமன் 6.3-ன்படி $P_A = Dgh$. பாதரசம்-காற்றுப் பரப்பில் அழுத்தம் $P_B =$ வளிஅழுத்தம் P_0 ஆகும். எனவே



படம் 6-4. பாதரச பாரமானி

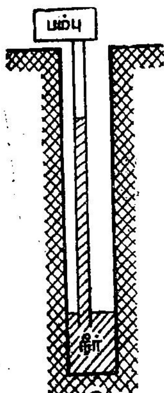
$$Dgh = P_0$$

$$h = \frac{P_0}{Dg}$$

$$h = \frac{1.01 \times 10^6}{13.6 \times 980} \text{ செ.மீ} = 76.0 \text{ செ.மீ} \qquad (6\text{-}4)$$

பாதரசத் தம்பத்தின் உயரம் வளி அழுத்தத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது. பாரமானி என்னும் கருவி வளி அழுத்தத்தை அளவிடப் பயன்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு



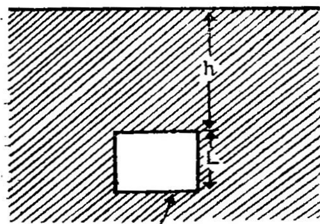
படம் 6-5. ஆழ்கிணறு ஒன்றிலுள்ள நீரை ஏன் பெற முடியாது.

ஒரு கிணற்றில் நீர்மட்டம் தரைமட்டத்திலிருந்து 50 அடி ஆழத்திலுள்ளது. கிணற்றினுள் ஒரு குழாயைவிட்டு அக்குழாயிலுள்ள எல்லாக் காற்றையும் நீக்கும்வரை அதன் உச்சியில் இணைக்கப்பட்ட பம்பு இயக்கப்படுகிறது (படம் 6-5). நீர் பம்பை அடையுமா? இங்கு குழாய், படம் 6-4-ல் காட்டியுள்ள பாதரச பாரமானியை ஒத்துள்ளது. எனவே, நீர்த் தம்பத்தின் பெரும உயரத்தைக் கணக்கிட சமன் 6.4-ஐப் பயன் படுத்தலாம்.

$$h = \frac{P_0}{Dg} = \frac{1.01 \times 10^6}{1 \times 980}$$

$$= 1.03 \times 10^3 \text{ செ.மீ.}$$

நீரானது 10.3 மீட்டர் அல்லது சுமார் 33 அடி உயரத்திற்கே மேலெழும்பும் என்பதனைக் காணலாம்.



படம் 6-6.

D அடர்த்தியுள்ள திரவத்தில் அழுந்தப்பட்ட AL பருமனுள்ள கட்டை.

ஆர்க்கிமிடீஸ் தத்துவம்

படம் 6-6-ல் காட்டியவாறுள்ள L உயரமும் A குறுக்குப் பரப்பளவும் கொண்ட கட்டை ஒன்று D அடர்த்தியுள்ள திரவம் ஒன்றினுள் h ஆழத்திற்கு அமிழ்த்தப் பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். கட்டையின் அடிப்பரப்பில் செயற்படும்விசை மேல் நோக்கிச் செயற்படும். அதன் மதிப்பு

$$F_{\text{மேலே}} = P.A = Dg\ (h+L).A$$

கட்டையில் உச்சிப் பரப்பில் விசை

$$F_{\text{கீழே}} = (Dgh).A$$

கட்டையினுல் இடம் பெயர்க்கப்பட்ட திரவத்தின் நிறை $M_{\text{திரவம்}} = DLA$ எனில் கட்டையின்மீது திரவத்தின் தொகுபயன் விசையானது

$$F_{\text{மேலே}} - F_{\text{கீழே}} = DgL.A = (M_{\text{திரவம்}})\ g$$

எனவே, கட்டையானது இடம் பெயர்க்கப்பட்ட திரவத்தின் எடைக்குச் சமமான மேல்நோக்கு விசைக்கு உட்படுகிறது. **பாய்மம் ஒன்றினுள் அமிழ்த்தப்பட்ட ஒரு பொருளானது இடம் பெயர்க்கப்பட்ட திரவத்தின் எடைக்குச் சமமான விசை ஒன்றினுல் மேலெழுப்பப்படுகிறது என ஆர்க்கிமிடீஸ் தத்துவம் கூறுகிறது.** மிதக்கும் பொருள் ஒன்றிற்கு இத் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தும் பொழுது மிதக்கும்பொருள் அதன் எடைக்குச் சமமான திரவத்தை இடம்பெயர்க்க வேண்டுமெனக் கூறுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு

சிந்தனைக்குரிய கேள்வி ஒன்று உண்டு: குவளை ஒன்றிலுள்ள குளிர்நீரில் பனிக்கட்டி உருகும்போது குவளையில் நீர்மட்டம் என்னவாகும்? உருகிய பனிக்கட்டி நீர்மட்டத்தை உயர்த்துமா, தாழ்த்துமா?

பனிக்கட்டி தொடக்கத்தில் நீரில் மிதக்கிறது எனக் கொள்வோமாயின் கேள்விக்குரிய விடை 'ஆம்' என்பதாகும். பனிக்கட்டியானது அதன் எடைக்குச் சமமான நீரை இடம் பெயர்க்குமாதலால் அது நீராக மாறும்போது நீரினுள் அது அடைத்துக் கொண்டிருந்த இடத்தை நிரப்பும்.

6-4 அணுக்களும் மூலக் கூறுகளும்

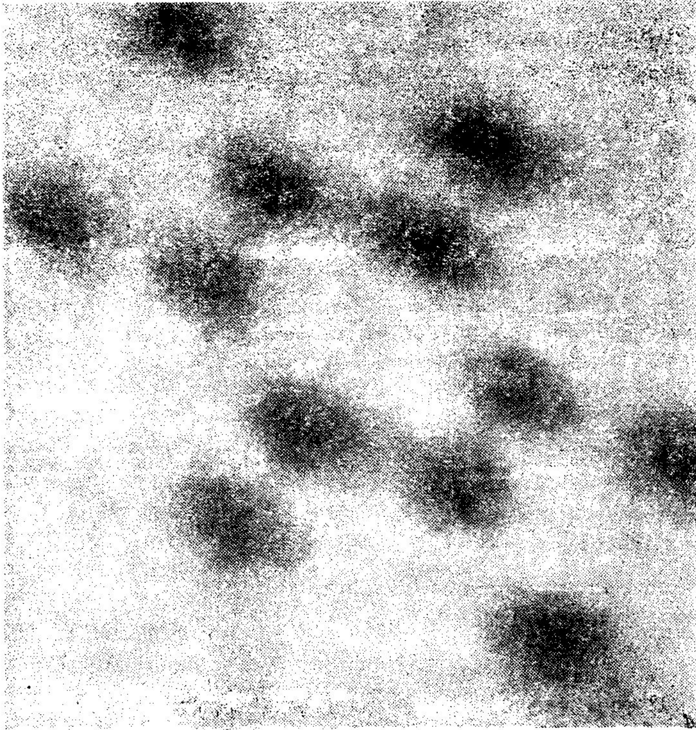
கட்புலனாகாத உருவ மூலங்கள் (The 'invisible' building blocks)

பருப் பொருளின் அமைப்பைப் பற்றி 13, 14ஆம் இயல்களில் கூறப்படும். எனினும், இயக்கக் கொள்கையைப் பற்றிக் கூறப்புகு முன் அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் ஆகியவைகளைப் பற்றிய கருத்துக் களை ஆராயவேண்டும்.

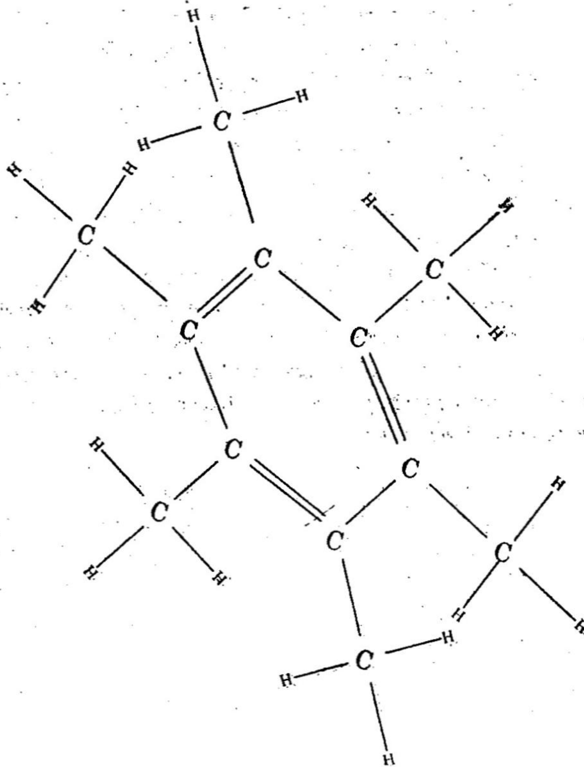
ஏறத்தாழ கி.மு.400ஆம் ஆண்டில் எல்லாப் பொருள்களும் அணுக்கள் என்னும் துகள்களால் ஆனவை; அணுக்களிடையே உள்ள இடைவெளி வெற்றிடம் என டெமாக்ரிட்டஸ் (Democritus) என்னும் கிரேக்க மெய்புணர்வாளர் கூறினார். அணு என்பதன் கிரேக்கச் சொல்லான atom என்றால் பிரிக்க முடியாதது எனப் பொருள்பெறும். இப் புவியில் 92 வெவ்வேறுவகையான அணுக்கள் இயற்கையிலேயே கிடைக்கின்றன என்பதை நாம் இப்பொழுது அறிகிறோம். முழுவதும் ஒரே வகை அணுக்களாலான பொருட்கள் தனிமங்கள் எனப்படுகின்றன. ஹைடிரஜன், கார்பன், ஆக்ஸிஜன், தாமிரம் போன்றவை 92 தனிமங்களுள் சில எடுத்துக் காட்டு களாகும். எல்லாத் தனிமங்களும் அடங்கிய அட்டவணையைப் பின் இணைப்பில் காணலாம். அவை, அவற்றின் அணு நிறைகளின் வரிசைப்படி (இரு விதிவிலக்குகளைத் தவிர) அமைக்கப்பட்டுள்ளன. அட்டவணையின் முதல் தனிமம் ஹைடிரஜன் ஆகும். அட்டவணை யில் ஒரு தனிமத்தின் எண்ணியல் நிலை (numerical Position) அதன் அணு எண் (atomic number) Z ஆகும். எனவே ஹைடிரஜனுக்கு $Z = 1$ லிதியத்திற்கு $Z = 3$ ஆகும்.

அணுக்கள் ஒன்றையொன்று தொடுமளவுக்கு நெருக்கமாக இருக்கும்போது சில அணுக்களிடையே வலிமைமிக்க ஈர்ப்பு விசை கள் செயற்படுகின்றன என்னும் அடிப்படையில் பொருட்களின் அமைப்பு விளக்கப்படுகிறது. வேறுபட்ட இயல்புடைய இரு அணுக்கள் கூட ஒன்றின் மீதொன்று வலிமைமிக்க ஈர்ப்பு விசை களைச் செயற்படுத்துகின்றன. காட்டாக, ஒரு ஆக்ஸிஜன் அணு வுக்கு ஒன்று அல்லது இரண்டு ஹைடிரஜன் அணுக்களிடம் மிகுந்த நாட்டம் உண்டு. இரு ஹைடிரஜன் அணுக்கள் ஒரு ஆக் ஸிஜன் அணுவுடன் உறுதியாக இணைந்த அமைப்பு ஒரு நீர்மூலக் கூறு எனப்படுகிறது. நீரானது முழுவதும் இத்தகைய H_2O மூலக் கூறுகளால் ஆனது. நீரானியை அதன் வேதியியல் பண்புகளைக் கொண்டிருக்கக் கூடிய மிகச் சிறிய துகளாகப் பிரிப்போமாயின் நாம் கிடைக்கப் பெறுவது H_2O மூலக்கூறாகும். வேறுபட்ட அணுக்களைக் கொண்ட முழு தொத்த மூலக்கூறுகளாலான எந்த வொரு பொருளும் ஒரு கூட்டுப்பொருள் என அழைக்கப்படும்.

கண்களாலோ அல்லது திறன்மிக்க ஒளியியல் நுண்ணோக்கிகளாலோ தனித்தனி அணுக்களையும் மூலக்கூறுகளையும் காணமுடியாது. எனினும், நவீன X கதிர் முறைகளைக் கொண்டு மூலக்கூறு அமைப்பைக் 'காண' முடியும். படம் 6-7 தனிச் சிறப்பு வாய்ந்த X கதிர் முறைகளைப் பயன் படுத்தி எடுக்கப்பட்ட ஹெக்ஸாமிதைல் பென்சீன் (Hexamethylbenzene) மூலக்கூறின் 'நிழற்படம்' ஆகும். திடப்பொருள் அல்லது திரவம் ஒன்றின் மூலக்கூறுகள் ஒன்றுடன் ஒன்று சற்று நெருக்கமாக உள்ளன. இதன் பயனாகவே திடப் பொருள்களையும் திரவங்களையும் அமுக்கமுடியாது. மாறாக, வாயுக்கள் ஏறதாழ 1000 மடங்கு குறைந்த அடர்த்தியைக் கொண்டுள்ளன; எனவே அவற்றின் மூலக்கூறுகள் மிகவும் பிரிக்கப் பட்டுள்ளன, சாதாரணமாக ஒரு வாயுவில் ஒரு மூலக்கூறு மற்றொன்றுடன் மோதுமுன்பு பல மூலக்கூறு விட்டங்களுக்குச் சமமான தொலைவைக் கடக்கிறது.



படம் 6-7



ஹெக்ஸாமிதைல்பென்சினின் (Hexamathylbenzene) நிழற்படம் மூலக் கூறின் அமைப்பு படம் 6-7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. நிழற்படம் நேரடியாக எடுக்கப்படவில்லை. தொலைகாட்சியில் மின்னியல் சைகைகள் எவ்வாறு ஒளியியல் சைகைகளாக மாற்றப்படுகின்றனவோ ஏறத்தாழ அதையொத்த முறையில் X-கதிர்சைகைகளை ஒளியியல் சைகைகளாக மாற்றிப் படமெடுக்கப் பட்டுள்ளது. உருப்பெருக்க எண் 10^8. (நன்றி: கோடக் ஆய்வுக் கூடத்தில் X-கதிரைக் கண்ணுறும் வகையில் மாற்றித் தந்த பேராசிரியர் M. L. ஹக்கின்ஸ்-Dr. M. L. Huggins.)

6-5 செம்மை வாயு விதி

மூலக் கூறுகளின் இடைவிடாத் தாக்குதல்

வெப்பநிலை மாறுமலிருக்கும்போது ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வாயுவின் பருமனைக் குறைத்தால் அதன் அழுத்தம் அதிகமாகிறது எனச் சோதனைகள் நமக்கு அறிவிக்கின்றன. அநேக வாயுக் களுக்கு அழுத்த மாறுபாடானது பரும மாறுபாட்டுடன் ஒரு எளிய தொடர்பைக் கொண்டுள்ளது என ஏறத்தாழ 300 ஆண்டுகளுக்கு முன்னர் சார்லஸ் பாயில் (charles Boyle) என்பவர் கண்டார்.

ஒரு வாயுவின் தொடக்க அழுத்தமும் பருமனும் P_1, V_1 என்னும் இறுதி அழுத்தமும் பருமனும் P_2, V_2 என்றும் கொள்வோம். வாயுவின் வெப்பநிலையும் அளவும் மாறுமலிருப்பின்

$$P_1V_1 = P_2V_2 \tag{6-5}$$

எனப் பாயில் விதி கூறுகிறது

மாதிரிக் கணக்கு

ஒரு காற்றுக்குமிழ் ஒரு ஏரியின் அடியிலிருந்து நீர்ப்பரப்பிற்கு வரும்போது அதன் பருமன் மூன்று மடங்காகிறது. ஏரியின் ஆழம் என்ன?

ஏரியின் அடியில் அழுத்தம் P_1, பருமன் V_1 என இருக்கட்டும் P_2 = வளி அழுத்தம் P_0, $V_2 = 3\ V$. பாயில் விதிப்படி

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_0 \times (3V_1)$$

$$P_1 = 3\ P_0$$

நீரின் எடை காரணமாக ஏரியின் அடியில் அழுத்த மிகுதிப்பாடு P_1-P_0 அல்லது $2P_0$ ஆகும். ஏரியின் ஆழம் h ஆனல் சமன் 6-3-ன்படி.

$$2P_0 = Dgh$$

$$h = \frac{2P_0}{Dg}$$

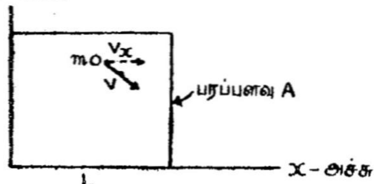
$$h = 20.6 \text{ மீட்டர்}$$

ஒரு வாயுவானது அது அடங்கியுள்ள கலத்தின் சுவர்களை மோதும் துகள்களைக் கொண்டுள்ளது என்பதை நாமறிவோமாதலால் நியூட்டன் விசையியலைப்பற்றிய நமது அறிவைப் பயன்படுத்தி பாயில் விதியைப் பெறக்கூடிய நிலையில் இருக்கிறோம். ஒரு துகள் ஒரு சுவற்றின்மீது மோதும் பொழுது அது அச் சுவற்றின் மீது ஒரு விசையைச் செயற்படுத்துகிறது என்பதை நாமறிவோம். எனவே, சுவற்றின்மீது வாயுவின் அழுத்தமானது சுவற்றின்மீது மோதும் பல மூலக்கூறுகளின் விசையினல் விளைகிறது. உண்மையில், ஒரு வாயு என்பது மூலக்கூறுகளின் செறிவுகுன்றிய கூட்டம் என்பதனை நாமறிவோமாதலால் மூலக்கூறுகளின் மோதல் ஒன்றே கலத்தின் சுவர்மீதுள்ள விசைக்குக் காரணமாயமைய வேண்டும்.

முதலில் m நிறையுடையதும் x திசையில் v_x என்ற திசைவேகத்துடன் செல்லக் கூடியதுமான ஒரே ஒரு மூலக்கூறின் மோதல்களால் மட்டும் ஒரு சுவற்றின்மீது விளையக்கூடிய சராசரி அழுத்தத்தைக் கணக்கிடுவோம். இத் துகளானது x திசையில் L நீளமுள்ளதும் x திசைக்கு நேர்குத்தான A அலகு பரப்புடைய

சுவர்களையுடையதுமான பெட்டி ஒன்றினுள் இருக்கட்டும். A சுவற்றில் இரு அடுத்தடுத்த மோதல்களுக்கிடையே உள்ள நேரம்

$$t = \frac{2L}{v_x}$$



m நிறையுடைய ஒற்றைத் துகள் AL பருமனுள்ள பெட்டியில் முன்னும் பின்னும் துள்ளியெழல்.

படம் 6-8

ஒவ்வொரு மோதலிலும் துகளின் உந்தத்தில் ஏற்படும் மாறுதல் $\triangle P_x$ எனில்

$$\triangle P_x = mv_x - m\ (-v_x) = 2mv_x$$

நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி சுவர், துகள் மீது செயற்படுத்தும் சராசரி விசை

$$F = \frac{\triangle P_x}{\triangle t} = \frac{2mv_x}{\left(\frac{2L}{v_x}\right)} = \frac{mv_x^2}{L}$$

$V = AL$ என்பது பெட்டியின் பருமன் எனில் இத் துகளினால் விளையும் சராசரி அழுத்தம்

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mv_x^2}{AL} = \frac{mv_x^2}{V}$$

பெட்டியிலுள்ள N துகள்களினால் விளையும் அழுத்தம்

$$P = \frac{N m\overline{v_x^2}}{V} \qquad (6\text{-}6)$$

$\overline{v_x^2}$ என்பது N மூலக்கூறுகளுக்கான v_x^2-ன் சராசரி மதிப்பு ஆகும். சமன் 6-6-க்கு உட்படும் வாயுக்கள் இலட்சிய வாயுக்கள் எனப் பெறுகின்றன. மிகவும் செறிவு குன்றிய எந்த வாயுவும் (N மிக அதிகமில்லாதது) ஒரு இலட்சிய வாயுவேகச் செயற்படுகிறது.

$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ (முப்பரிமாணங்களுக்கான பிதகோரஸ் தோற்றம்) ஆதலால் $\overline{v_x^2}$-ஐ $\overline{v^2}$-உடன் எளிய முறையில் தொடர்புப்படுத்தலாம். இரு பக்கங்களுக்கான சராசரியை காண்போமாயின்

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}\ .$$

மூலக் கூறுகள் எல்லாம் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலன்றி மனம் போன திசைகளிளெல்லாம் செல்வதால் $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$. எனவே

$$\overline{v^2} = \overline{3v_x{}^2}$$

அல்லது $\overline{v_x{}^2} = \dfrac{\overline{v^2}}{3}$

இதனைச் சமன் 6-6-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$PV = Nm\,\frac{\overline{v^2}}{3}$$

சமன்பாட்டில் இடது பக்கம் பாயில் விதியில் உள்ள அதே கோவை என்பதைக் கவனிக்கவும். ஒரே அளவு வாயுவை (N மூலக்கூறுகள்) இருவேறுபட்ட நிலைகளில் கருதுவோம். சமன் 6-7-ன்படி

$$P_1V_1 = \frac{Nm}{3}\,\overline{v_1{}^2} \text{ (முதல் நிலை)}$$

$$P_2V_2 = \frac{Nm}{3}\,\overline{v_2{}^2} \text{ (இரண்டாம் நிலை)}$$

வாயுவின் இருநிலைகளுக்குரிய வெப்பநிலைகள் $T_1 = T_2$ எனில் $\overline{v_1{}^2} = \overline{v_2{}^2}$ என அடுத்த பகுதியில் காணலாம். எனவே, ஒரே வெப்ப நிலையில் மேற்கூறப்பட்ட சமன்பாடுகளின் இடது பக்கங்களும்

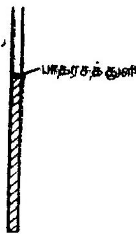
$$\left(\frac{Nm}{3}\,\overline{v_1{}^2}\right)$$

என்ற ஒரே அளவுக்குச் சமமாகும். ஆகவே

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

6-6 வெப்பநிலை

நுண்ணியல் இயக்க ஆற்றல் (microscopic Kinetic energy)



படம் 6-9

எளிய வாயு வெப்ப நிலைமானி. கோடிட்ட பகுதி நிலையான அழுத்தத்திலுள்ள வாயுவைக் குறிக்கிறது. பாதரசத் துளியின் உயரம் வெப்ப நிலைக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது.

வெப்பநிலை என்ற கருத்தைப்பற்றி ஒவ்வொருவரும் அறிவோம். பாதரசத் தம்பம் அல்லது சிவப்புநிற ஆல்கஹால் தம்பம் ஆகியவற்றின் பெருக்கத்தைப் பதிவு செய்து வெப்பநிலையை அளவிடுவதை நாம் அறிவோம். அவ்வளவு வசதியாக இல்லாவிட்டாலும் ஒரு வாயுத் தம்பத்தின் பெருக்கத்தைப் பயன்படுத்தியும் வெப்பநிலையை அளவிடலாம். வாயு வெப்பநிலைமானியின் எளிய வடிவம் ஒன்றைப் படம் 6-9-ல் காணலாம். வாயுவானது வெளியே செல்லா வண்ணம் வாயுத் தம்பத்தின் உச்சியிலுள்ள பாதரசத்துளி தடுக்கிறது. இவ்வாறு அடைப்பட்ட வாயுவின் அழுத்தம் எப்போதும் வலிஅழுத்தம், P_0 ஆக இருக்கும். சமன் 6-7-ன்படி அதன் பருமன்

$$V = \frac{N\overline{mv^2}}{3P_0}$$

(KE) என்பது ஒரு மூலக்கூறின் சராசரி நேர்கோட்டு இயக்க ஆற்றல் எனில் $\overline{mv^2} = 2(\overline{KE})$ ஆகும். $(\overline{KE})$ என்ற குறியீட்டை மூலக்கூறின் சுழலியக்கம், அலைவியக்கம் ஆகியவற்றால் விளையும் இயக்க ஆற்றலை உட்படுத்தாமல் நேர் கோட்டியக்கத்தால் விளையும் இயக்க ஆற்றலைமட்டும் குறிப்பிடப் பயன்படுத்துவோம். $\overline{mv^2}$-க்கு $2(\overline{KE})$ -ஐப் பதிலீடு செய்வோமாயின் மேற் கூறப்பட்ட சமன் பாட்டை

$$V = \frac{2N}{3P_0}(\overline{KE})$$

என எழுதலாம். இவ்வாறாக ஒரு வெப்பநிலை மானியின் வெப்ப நிலை அளவீடு ஒரு மூலக்கூறுக்கான நேர் கோட்டியல் சராசரி இயக்க ஆற்றலுக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது. இலட்சிய வாயுவைப் பொறுத்தமட்டில் வெப்பநிலை T, $(\overline{KE})$ ஆகியவற்றிற்கிடையேயான இத் தொடர்பை

$$(\overline{KE}) = \frac{3}{2}\ kT \qquad (6\text{-}9)$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படும் $(3/2k)$ என்னும் விகித மாறிலியைப் பயன்படுத்தி எழுதலாம். அல்லது சமன் 6.8-ன்படி

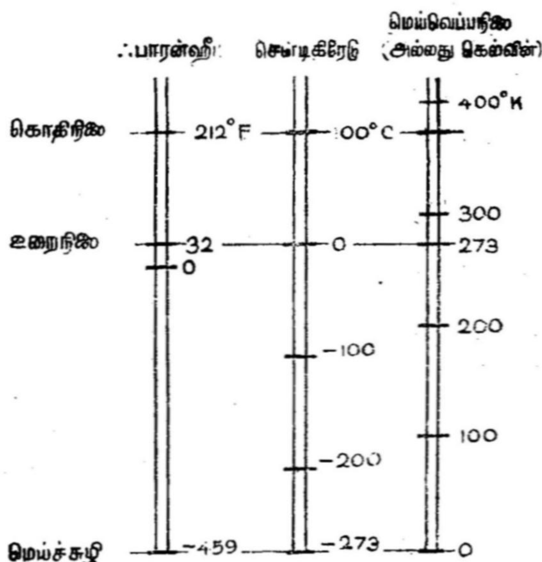
$$T = \frac{P_0}{Nk} V$$

இந் நூலில் **வெப்பநிலைக்கான வரையறை மேற்கூறப்பட்ட சமன்பாட்டால்** தரப்படுகிறது. விகிதமாறிலியான k போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி (Boltzmann constant) என அழைக்கப்படுகிறது. தெரிந்ததொரு வெப்பநிலையில் P, V ஆகியவற்றை அளவிடுவதன் மூலம் அதனைச் சோதனைவாயிலாக மதிப்பிட வேண்டும். சோதனையிலிருந்து

போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி $k = 1.38 x 10^{-16}$ எர்க்/டிகிரி சென்டிகிரேோடு எனத் தெரியவருகிறது. மெட்ரிக் முறையில் வெப்பநிலைக்கான அலகு டிகிரி சென்டிகிரேோடு ஆகும். சென்டிகிரேோடு அளவு முறையானது முதன் முதலில் (வளி அழுத்தத்தில்) கொதிநீரின் வெப்பநிலையை 100°C எனவும் உறைநீரின் வெப்பநிலையை 0°C எனவும் வரையறுத்து நிறுவப்பட்டது. ஆங்கிலமுறையில் உறைநீரின் வெப்பநிலை 32°F (ஃபாரன்ஹீட்—Fahrenheit) கொதிநீரின் வெப்பநிலை 212°F. எனவே 1°C வெப்பநிலை மாறுபாடானது 1.8°F வெப்பநிலை மாறுபாட்டிற்குச் சமமாகும். படம் 6.10-ல் ஃபாரன்ஹீட், சென்டிகிரேடு அளவுமுறைகள் ஒப்பிடப் பட்டுள்ளன.

மெய்ச்சுழி (Absolute Zero)

சமன் 6-9-ல் வரையறுக்கப்பட்ட சுழி வெப்பநிலையானது செண்டிகிரேடு முறையில் உள்ள சுழி அல்ல என்பதனைக் காணலாம். சமன் 6-9-ன்படி எல்லா மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் சுழியாகும்போது $T=0$ ஆகும். இது உறைநீரின்



படம் 6-10

ஃபாரன்ஹீட் செண்டிகிரேடு மற்றும் மெய்வெப்பநிலை (அல்லது) (கெல்வின்) அளவு முறைகளை ஒப்பிடுதல்.

வெப்பநிலையைவிட மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையாகும். சமன் 6-9-ஐப் பயன்படுத்த வேண்டுமாயின் செண்டிகிரேடு முறையின் சுழியை "மீண்டும் வரையறுக்க" வேண்டும். அவ்வாறு மீண்டும் வரையறுக்கப்பட்ட செண்டிகிரேடுமுறை மெய் வெப்பநிலைமுறை (absolute scale) அல்லது கெல்வின்முறை (Kelvin scale) என அழைக்கப்படுகிறது. நீரானது $T=273°K$ (கெல்வின்) வெப்ப நிலையில் உறைகிறது எனச் சோதனைகள் காட்டுகின்றன. எனவே கெல்வின் முறையின் சுழியானது செண்டிகிரேடு முறையில்— 273°C-ல் உள்ளது. இந்த வெப்பநிலையில் மூலக்கூறுகளின் இயக்கம் யாவும் நின்றுவிட வேண்டும். (குவான்டம் கொள்கை யின்படி இந்நிலையிலும் சுழிநிலையாற்றல் என்னும் ஆற்றல் இருக்கும்). தனிச்சிறப்பு வாய்ந்த இந்த வெப்பநிலை மெய்ச்சுழி என அழைக்கப்படுகிறது. வெப்பநிலையை மூலக்கூறு இயக்கத்தின் அளவாக வரையறுப்பதின் பயன் என்னவெனில் மெய்ச்சுழியை

விடக் குறைந்த வெப்பநிலை இருக்கமுடியாது என்பதாகும். இது வரை ஆய்வுக்கூடங்களில் செய்யப்பட்ட சோதனைகளின் பயனாக 0.0001°K-க்குக் குறைந்த வெப்பநிலையை அடைந்துள்ளோம்.

சமன் 6-9-ன் வலதுபுறத்தைச் சமன் 6-8-ல் பதிலீடு செய்து இலட்சியவாயு விதியை அதன் முழுமை பெற்ற வடிவத்தில் எழுதலாம். அதாவது

$$V = \frac{2}{3}\frac{N}{P}(3/2kT)$$

செம்மை வாயு விதி அல்லது $Pv = NkT$ (6.10

நடைமுறையில், வாயுக்கள் மெய்ச்சுழிக்குச் சற்று அதிகமான வெப்பநிலைகளில் திரவமாகிவிடுகின்றன. எனவே, சமன் 6-10, வாயுவானது திரவமாக மாறக்கூடிய வெப்பநிலைப் பகுதியில் பொருந்தாது என்பது தெளிவாகும். சரியாகக் கூறுமிடத்து சமன் 6-10 இலட்சியவாயு எனப்படும் வாய்வுக்கே சரியாகப் பொருந்தும். இலட்சியவாயுவில் மூலக்கூறுகளின் முழுப்பருமன் V-ஐ விட மிகவும் குறைவாக இருக்க வேண்டும்; மேலும், மூலக் கூறுகள் அவைகளுக்கிடையே மோதலின்போதன்றி மற்ற நேரங் களில் ஒன்றின்மீதொன்று விசை எதையும் செயற்படுத்தாத வகையில் கெட்டியான கோளங்களாக இயங்க வேண்டும்.

மாதிரிக் கணக்கு

ஹைடிரஜன் அணுவின் நிறை 1.67×10^{-24} கி. எனில் வளி அழுத்தத்தில் 0°C வெப்பநிலையில் ஹைடிரஜனின் அடர்த்தி என்ன?

நிறை Nm-ஐ பருமன் V-ஆல் வகுக்கக் கிடைப்பது அடர்த்தி யாகும்.

$$D = \frac{Nm}{V}$$

சமன் 6-1-லிருந்து V-ன் மதிப்பை மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$D = \frac{Nm}{\left(\frac{NkT}{P}\right)}$$

$$D = \frac{mP}{kT}$$

ஒவ்வொரு ஹைடிரஜன் மூலக்கூறிலும் இரு அணுக்கள் இருப் பதால் m-ன் மதிப்பு 1.67×10^{-24} கிராமின் இருமடங்கு இருக்கும், P-ன் மதிப்பு 1.01×10^{6} டைன்கள்/செமீ^{2}; T-ன் மதிப்பு 273°K இம் மதிப்புக்களைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$D = \frac{2\times1.67\times10^{-24}\times1.01\times10^{6}}{1.38\times10^{-16}\times273} \text{ கி/செ.மீ}^3$$

$$= 8.9\times10^{-5} \text{ கி/செ.மீ}^3$$

6-7 அவகாட்ரோ விதி

துகள்களின் எண்ணிக்கையின் சிறப்பு

ஒரு கலத்தில் m_1, m_2 நிறைகளையுடைய மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட இரு வாயுக்கள் கலந்திருப்பதாகக் கொள்வோம், அவ்வாறு கலக்கப்பட்டபின் அவ்விரு வாயுக்களும் ஒரே வெப்ப நிலையை அடைவது சோதனை வாயிலாகக் காணப்படுகிறது. எனினும் வாயு 1-ன் வெப்ப நிலை, $T_1 = 2\,(\overline{KE})_1/3k$ ஆகவும் வாயு 2-ன் வெப்பநிலை $T_2 = 2(\overline{KE})_2/3k$ ஆகவும் இருக்கும் என சமன் 6-9 கூறுகிறது. நியூட்டன் விசையியலைப் பயன்படுத்தி $(\overline{KE})_1 = (\overline{KE})_2$ என நிறுவினுல்தான் வெப்பநிலைக்கான நமது இயக்கக் கொள்கை வரையறைப் பொருளுடையதாயிருக்கும். அதாவது

$$\tfrac{1}{2}\, m_1\overline{v_1^{\,2}} = \tfrac{1}{2} m_2\overline{v_2^{\,2}}$$

அல்லது $$\frac{\overline{v_1^{\,2}}}{\overline{v_2^{\,2}}} = \frac{m_1}{m_1}$$

என நாம் நிறுவவேண்டும். இதற்கான நுட்பமான நிரூபணம் இந் நூலுக்கு அப்பாற்பட்டது. எனினும் m_1-ம் m_2-ம் ஒரே திசை வேகத்துடன் தொடங்கி ஒன்றுடன் ஒன்று பலமாக மோதிக் கொள்ளும்போது என்ன நிகழ்கிறது என்பதை ஆராய்வதன் மூலம் அந்த நிரூபணம் எத்தகையது என்பதுபற்றிய கருத்தைப் பெற லாம். m_1, பெரியநிறை எனக் கொள்வோமாயின் மோதலினுல் m_1-ன் வேகம் குறையும். கனமான இயங்கும் பொருளுடன் m_1-ன் மோதலானது டென்னிஸ் மட்டையுடன் டென்னிஸ் பந்து ஒன்றின் மோதலை ஒத்ததாகும். m_2-ன் வேகம் அதிகரிக்கப்படும். அடுத்தடுத்தப் பல மோதல்களுக்குப் பிறகு $m_1 v_1^{\,2}$-ன் சராசரி யானது $m_2 v_2^{\,2}$-ன் சராசரிக்குச் சமமாகும். இவ்வாருக, ஒரே வெப்பநிலையில் இருக்கும் இரு பொருட்கள் நேர் கோட்டியக்கத் திற்கான அதே சராசரி இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். இத் தகைய நிகழ்ச்சி ஆற்றலின் சமப்பங்கீடு (equipartition of energy) என அழைக்கப் பெறுகிறது.

ஒத்த அழுத்தங்கள், பருமன்கள் மற்றும் வெப்பநிலைகளைக் கொண்ட இரு வாயுக்கள் ஒரே எண்ணிக்கை மூலக்கூறுகளைக் கொண்டிருக்கும் என அவகாட்ரோ விதி கூறுகிறது. சமன் 6-10

லிருந்து N-க்கான மதிப்பைக் காண்பதின் மூலம் அவகாட்ரோ விதி யானது இயக்கக்கொள்கையின் விளைவு என நிறுவலாம் வாயு 1-க்கு

$$N_1 = \frac{P_1V_1}{kT_1}$$

வாயு 2-க்கு

$$N_2 = \frac{P_2V_2}{kT_2}$$

இனி $P_1=P_2$, $V_1=V_2$, $T_1=T_2$ எனில்

$$N_1=N_2$$

ஆகும். எனவே அறை வெப்பநிலையிலும் வளி அழுத்தத்திலும் 1 லிட்டர் பருமனுள்ள எந்த வாயுவும் அதே வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் உள்ள மற்றொரு வாயுவின் ஒரு லிட்டர் பருமனி லுள்ள அதே எண்ணிக்கை மூலக்கூறுகளைக் கொண்டிருக்கும். அவ்விரு வாயுக்களின் நிறைகளின் விகிதமானது அவற்றின் மூலக்கூறு நிறைகளின் விகிதம் m/m_2-க்குச் சமமாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு

வளி அழுத்தத்திலும் $T=0°C$ வெப்பநிலையிலும் இலட்சிய வாயு ஒன்றின் 22.4 லிட்டர்கள் பருமனில் எத்தனை மூலக்கூறுகள் இருக்கும்?

சமன் 6-10ன்-படி

$$N = \frac{PV}{kT}$$

$$= \frac{1.01 \times 10^6 \times 22.4 \times 10^3}{1.38 \times 10^{-16} \times 273} = 6.02 \times 10^{23}$$

மோல்

ஆக்ஸிஜன், ஹைடிரஜன் ஆகியவற்றின் அணு நிறைகளின் விகிதம் 16 : 1.008 ஆகும். ஒப்புமை அணு நிறைகளின் (relative atomic mass)களின் தரப்படுத்தப்பட்ட (Standardized) அட்டவணை ஒன்றைப் பெறுவதற்காக வேதியியல் வல்லுநர்கள் ஆக்ஸிஜனின் அணு 'எடை'யைச் சரியாக 16 என வரையறுத் துள்ளனர். அதன் பயனாய் ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறு (O_2) ஒன்றின் மூலக்கூறு 'எடை' 32 ஆகும்; ஹைடிரஜனின் மூலக்கூறு (H_2) ஒன்றின் மூலக்கூறு 'எடை' 2.016 ஆகும். **மோல் என்பது கிராம்கள் கணக்கில் குறிப்பிடப்பட்ட மூலக்கூறு 'எடை' என வரை யறுக்கப்படுகிறது.** இவ்வாறாக ஒரு மோல் ஹைடிரஜன் என்பது 2.016 கிராம் ஹைடிரஜன் ஆகும்; ஒரு மோல் H_2O என்பது

18.016 கிராம்ஆகும். ஒரு மோலில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை அவகாட்ரோ எண் (N_0) என வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது; ஒரு மூலக்கூறின் நிறையை அறிந்தால் அதன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். படிகங்களில் அணுவிடைத் தூரங்களைத் துல்லியமாக அளவிடக்கூடிய X கதிர் முறைகளைப் பயன்படுத்தி ஹைடிரஜன் அணுவின் நிறையானது 1.67×10^{-24}கி எனக்கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. எனவே 2.016கி. ஹைடிரஜனை $2 \times 1.67 \times 10^{-24}$ கி-ஆல் (ஒரு ஹைடிரஜன் மூலக்கூறின் நிறை வகுக்கக் கிடைப்பது ஒரு மோலில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையாகும். அதாவது

அவகாட்ரோ எண் $N_0 = 6.02 \times 10^{23}$

ஆகும். அவகாட்ரோ விதிப்படி வளி அழுத்தத்திலும் 0°C வெப்ப நிலையிலும் உள்ள எந்தவொரு வாயும் அதே அழுத்தம் அதே வெப்ப நிலையிலுள்ள மற்றெந்த வாயுவும் பெற்றிருக்கக் கூடிய அதே பருமனைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். அத்தகைய சூழ்நிலைகளில் ஒரு மோல்வாயு பெற்றிருக்கக் கூடிய பருமனைச் சமன் 6.10-லிருந்து பெறலாம்.

$$V = \frac{N_0 kT}{P_0}$$

$$= \frac{(6.02 \times 10^{23}) \times (1.38 \times 10^{-16}) \times 273}{1.01 \times 10^{6}} \text{ செ.மீ}^3$$

$$= 22.4 \times 10^3 \text{ செ.மீ}^3$$

$$= 22.4 \text{ லிட்டர்கள்}$$

மாதிரிக் கணக்கு

கார்பனின் அணு'எடை' 12. ஒவ்வொரு கார்பன் அணுவும் 6 எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றிருப்பின் 1கி கார்பனில் எத்தனை எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கும்?

ஒரு மோல் அல்லது 12 கிராம் கார்பனில் N_0 கார்பன் அணுக்கள் அல்லது $6N_0$ எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. எனவே, 1 கிராம் கார்பனில் $6N_0/12$ அல்லது 3.01×10^{23} எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன.

6-8 வெப்பத்தின் இயக்கக் கொள்கை

பேரியல் ஆற்றலின் நுண்ணியல் நோக்கு (A microscopic view of macroscopic energy)

மெட்ரிக் முறையில் வெப்பத்தின் அலகு கேலரி (calorie) எனப்படும். ஒரு கேலரி என்பது 1கிராம் நீரின் வெப்பநிலையை

$1^\circ C$ உயர்த்துவதற்குச் தேவையான வெப்பம் என வரையறுக்கப் படுகிறது. 5-9-வது பிரிவில் கூறப்பட்டுள்ளபடி ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வெப்பத்தை அதன் இணை மாற்றுன எந்திர ஆற்றலிலிருந்து பெறலாம். காட்டாக, அதன் நீரினுள் துடுப்புச் சக்கரம்(paddle wheel) ஒன்றைச் சுழற்றுவதன் மூலம் ஒரு குறுப்பிட்ட அளவு நீரின் மீது குறிப்பிட்ட ஒரு அளவு வேலை செய்யலாம். வெப்ப நிலையானது செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவுக்கு நேர் விகிதத்தில் அதிகமாவது காணப்படுகிறது. இத்தகைய எல்லாச் சோதனைகளும் 1 கேலரி வெப்பமானது 4-18 ஜூல்கள் ஆற்றுக்குச் சமமாக உள்ளது என கூறுகின்றன.

வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணை மாற்று 1 கேலரி $= 4.18 \times 10^7$ எர்குகள்

நீரைச் சூடேற்றுவதற்குப் பதிலாக ஒரணு (மூலக்கூறுக்கு ஒரு அணு) வாயு ஒன்றின் ஒரு மோலைச் சூடேற்றுவதாகக் கொள்வோம். ஹீலியம் (அணு'எடை' 4) இதற்கான ஒரு சிறந்த எடுத்துக் காட்டாகும். 4 கி. ஹீலியத்தின் வெப்ப நிலையை $1^\circ C$ உயர்த்துவதற்கு 2-98 கேலரிகள் வெப்பம் அல்லது 12.5×10^7 எர்குகள் வேலை தேவைப்படுகிறது எனச் சோதனைகள் காட்டுகின்றன. இந்த ஆற்றல் எங்கு செல்கிறது? இந்த ஆற்றலானது. முழுவதுமாக ஹீலியம் மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றலை அதிகரிக்கப் பயன்படுகிறதா என நாம் ஐயுறுகிறோம். இப்பொழுது இயக்க ஆற்றலில் ஏற்பட்ட அதிகரிப்பானது சோதனை வாயிலாகக் கிடைத்த மதிப்பான 12.5×10^7 எர்குகளுக்குச் சமமாக உள்ளதா என்பதைச் சரிபார்ப்போம். இயக்கக் கொள்கையின்படி சமன் 6-9-ஐ N_0ஆல் பெருக்குவதன் மூலம் ஒரு மோல் ஹீலியத்தின் இயக்க ஆற்றலைப் பெறலாம்.

$$\text{KE/மோல்} = N_0 \times \tfrac{3}{2}kT$$

ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடுக்குரிய இயக்க ஆற்றல் மிகுதிப்பாடு

$$\text{KE/மோல்-டிகிரி} = \tfrac{3}{2} N_0 k$$

$$= \tfrac{3}{2} \times 6.02 \times 10^{23} \times 1.38 \times 10^{-16} \text{ எர்கு/மோல்-டிகிரி}$$

$$= 12.5 \times 10^7 \text{ எர்குகள்/மோல்—டிகிரி}$$

இயக்கக் கொள்கையானது 'புரியாத புதிராகிய' வெப்பம் என்பது உண்மையில் என்ன என்பதைப்பற்றித் தெளிவாக விளக்குகிறது என்பதை நாம் காணலாம்.

H_2, O_2, N_2 போன்ற ஈரணு மூலக்கூறுகளை (ஒரு மூலக்கூறுக்கு இரு அணுக்கள்)ப் பொறுத்தவரை கொடுக்கப்பட்ட வெப்பமானது நேர்கோட்டியக்க ஆற்றலாக மட்டுமின்றி சுழலியக்க ஆற்றலாகவும் அலைவியக்க ஆற்றலாகவும் மாறுகிறது. எனவே, ஒரு மோல் ஈரணு மூலக்கூறின் வெப்பநிலையை 1°C உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பமானது ஓரணு மூலக்கூறுக்குத் தேவைப்படுவதைவிடச் சற்று அதிகமாக உள்ளது. மூலக்கூறுகளின் சுழலியக்கத்திற்கும் அலைவியக்கத்திற்கும் எவ்வளவு ஆற்றல் செல்லவேண்டுமென நியூட்டன்விசையயில் அல்லது முதுவிசையியல் வரையறுத்துக் கூறுகிறது. பொதுவாக வாயுக்களின் அளவிடப்பட்ட வெப்ப எண்கள் (வெப்பநிலையை 1°C உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம்) முதுவிசையியலின் கூற்றுப்படி அமைவதில்லை. இது பின்வரும் எடுத்துக்காட்டில் விளக்கப்படுகிறது. எனினும் வெப்ப எண் அளவீட்டிற்கும் புதிய குவான்டம் கொள்கைக்கும் (இயல் 12) இடையே மிகுந்த ஒற்றுமை காணப்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு

முதுவிசையியலில் கூறப்பட்ட ஆற்றல் சமப்பங்கீட்டு விதியானது ஒரு மூலக்கூறின் ஒவ்வொரு தன்னுரிமைப்படிக்கும் $\frac{1}{2}kT$ சராசரி இயக்க ஆற்றல் உள்ளது எனக் கூறுகிறது. ஒரு ஈரணு மூலக்கூறானது மூன்று சுழற்சித் தன்னுரிமைப் படிகளையும் (rotational degrees of freedom) ஒரு அலைவியக்கத் தன்னுரிமைப் படியையும் (vibrational degrees of freedom) கொண்டுள்ளது. முதுவிசையியலின்படி பருமன் மாறாமல் இருக்கும்போது ஈரணு வாயு ஒன்றின் ஒரு மோலுக்குரிய வெப்ப எண் என்ன ?

ஒரு மூலக்கூறுக்குரிய சராசரி இயக்க ஆற்றலானது நேர்கோட்டியக்கத்திற்கான $3/2\ kT$ + சுழலியக்கத்திற்கான $3/2\ kT$ + அலைவியக்கத்திற்கான $1/2\ kT$ ஆகும். மேலும், சீரிசை இயக்கத்தில் ஒரு அலையியற்றியின் சராசரி நிலையாற்றலானது சராசரி இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமமானதால் அலைவியக்கத்தின் நிலையாற்றலுக்கென மேலும் ஒரு $1/2kT$ அளவு ஆற்றலைச் சேர்த்துக் கொள்ளவேண்டும், எனவே

KE/மோல் $= N_0 \times \frac{8}{2}kT$

KE/மோல்—டிகிரி $= 6.02 \times 10^{23} \times 4 \times 1.38 \times 10^{-16}$

$= 33.3 \times 10^7$ எர்குகள்/மோல்-டிகிரி.

எனினும் அறைவெப்ப நிலையில் KE/மோல்-டிகிரி-ன் அளவிடப்பட்ட மதிப்பு 20.8×10^7 எர்குகள்/மோல்-டிகிரி ஆகும்.

ஈரணு மூலக்கூறுனது அதன் அலைவியக்கத் தன்னுரிமைப் படியை அல்லது சுழற்சித் தன்னுரிமைப்படிகள் இரண்டை மட்டுமே தூண்டப்படக்கூடிய வகையில் செயற்படுகிறது. ஆனால் சற்று உயர்ந்த வெப்ப நிலைகளில் அலைவியக்கமும் தூண்டப்படுகிறது. வெப்ப எண்ணனது வெப்ப நிலையைப் பொறுத்திருக்கக் கூடிய இத்தகைய விசித்திரப் பண்பைக் குவான்டம் கொள்கைத் துல்லியமாகக் கூறுகிறது. முது கொள்கையின்படி வெப்ப எண்ணனது வெப்ப நிலையைச் சார்ந்திராது.

6-9 நிலைமாற்றங்கள்

மூலக் கூறுகளைச் சிறை செய்தலும் சிறை மீட்டலும்

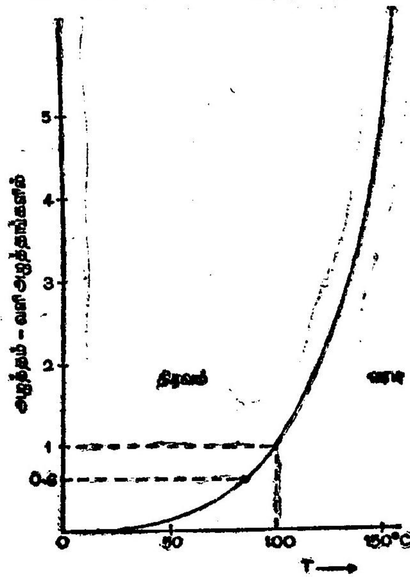
ஒரு மூலக்கூறுக்குரிய சராசரி இயக்க ஆற்றல் அல்லது வெப்ப நிலை, மூலக்கூறிடை விசைகளின் வலிமை ஆகியவற்றைப் பொறுத்து திடப்பொருளிலோ, திரவத்திலோ அல்லது வாயுவிலோ மூலக் கூறுகள் திரளாக அமையலாம். அறைவெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு திடப்பொருளில் உள்ள எல்லா மூலக்கூறுகளும் (குவான்டம் விளைவுகளைப் புறக்கணித்து) $3/2\ kT$ என்ற சராசரி இயக்க ஆற்றலுடன் அவற்றின் சம நிலைகளைப்பற்றி அலைவுறு கின்றன. எனினும் ஒரு மூலக்கூறனது அதனைத் திடப்பொருளில் தன் நிலையிலிருந்து விடுவித்துக் கொள்ளத் தேவைப்படும் ஆற்றலானது $3/2\ kT$-ஐவிட மிக அதிகமாக இருக்குமளவுக்கு மூலக்கூறிடை விசைகள் வலிமையுடையனவாக இருக்கின்றன. வெப்பநிலை அதிகரிக்கப்படும் பொழுது மூலக்கூறுகளுக் கிடையே யுள்ள தொலைவானது ஒரே அளவாயில்லா விடினும் அவைகளுக் கிடையே உள்ள விசைகள் அவைகளை ஒருங்கே வைத்திருக்கக்கூடிய அளவுக்கு வலிமை கொண்டனவாகவே இருககக்கூடிய ஒரு வெப்பநிலையை மூலக்கூறுகள் இறுதியில் அடைகின்றன. அந்த வெப்பநிலை உருகுநிலை எனப்படுகிறது. இவ்வாறு அவற்றிற் கிடையே உள்ள தொலைவு மாறுகின்ற நிலையிலும் திரளாக உள்ள மூலக்கூறுகளே திரவம் எனக் கூறலாம். இது ஒரு திரவத்தின் நுண்ணியல் வருணனையாகும். ஒரு திரவத்தில் ஒற்றை மூலக்கூறு ஒன்று மற்ற மூலக்கூறுகளின் கூட்டத்தினின்றும் பிரிந்து செல்வது மிகவும் கடினம்.

இன்னும் உயர்ந்த ஒரு வெப்பநிலையில் (கொதிநிலை) மூலக்கூறு களில் பெரும்பான்மையானவை மூலக்கூறிடை விசைகளினின்றும் முழுவதுமாக விடுதலை பெறுவதற்கேற்ற ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். கொதி நிலையைவிடக் குறைந்த வெப்பநிலைகளில்கூட திரவப் பரப்பிற்கு அருகிலுள்ள ஏதேனும் ஒரு மூலக்கூறு சராசரிக்குச் சற்று மிகுதியான ஆற்றலைப் பெற்று திரவத்தினின்றும் விடு படலாம். இவ்வாறு பெருமத் திசைவேகத்துடன் கூடிய மூலக்

கூறுகள் திரவப் பரப்பினின்றும் தப்பி வெளியேறுவது ஆவியாதல் எனப் பெறுகிறது. பெருமத் திசைவேக மூலக்கூறுகளின் வெளியேற்றம் எஞ்சியுள்ள மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் அல்லது வெப்பநிலையைக் குறைக்க முயலும். எனவே, ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு திரவத்தை அதே வெப்பநிலையில் வாயுநிலைக்கு மாற்றுவதற்கு ஓரளவு வெப்பம் தேவைப்படுகிறது. அவ்வாறு ஒரு கிராம் திரவத்திற்குத் தேவைப்படும் வெப்பம் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் எனப்படும். 100°C வெப்ப நிலையில் நீரின் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் 540 கேலரிகள்/கிராம் ஆகும். ஒரு பானை நீரை முழுவதும் ஆவியாக மாற்றுவதற்குக் கணிசமான அளவு ஆற்றல் தேவைப்படுவதை நாம் காணலாம். இதை யொத்த காரணங்களினால் 0°C வெப்பநிலையில் 1 கிராம் பனிக்கட்டியை உருக்க 80 கேலரிகள் தேவைப்படுகிறது. இது உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் எனப்படும். பொதுவாக ஒரு பொருளின் நிலைமாற்றத்திற்கு உள்ளுறை வெப்பம் தேவைப்படும்.

ஆவி அழுத்தம்

மூடப்பட்ட, காற்று நீக்கப்பட்ட பெட்டி ஒன்றினுள் ஓரளவு நீர் விடப்படுவதாகக் கொள்வோம். அந்த நீரானது ஒவ்வொரு



படம் 6-11

0 முதல் 150°C வெப்பநிலைப் பகுதியில் நீரின் ஆவி அழுத்தக்கோடு. அழுத்தம் வளி அழுத்தங்கள் கணக்கில் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. (1வளி அழுத்தம் $= 1.01 \times 10^6$ டைன்கள்/செ.மீ²)

விளுடியும் அதன் பரப்பிலிருந்து வெளியேறும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையும் அதன் பரப்பை மீண்டும் வந்தடையும் மூலக்கூறு களின் எண்ணிக்கையும் சமமாகும் வரை ஆவியாகும். எந்தவொரு வெப்பநிலை T-லும் இச் சம நிலையானது அந்த வாயுவின் குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தை அறுதியிடுகிறது. T-ன் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பிற்குரிய P-ன் குறிப்பிட்ட மதிப்பு ஆவி அழுத்தம் எனப் பெறுகிறது. ஒரு குரவத்தோடு சமநிலையில் உள்ள அந்த வாயுவை ஆவி என அழைப்பது வழக்கம். படம் 6-11-ல் உள்ள வரைகோடு T-ன் பல்வேறு மதிப்பிற்குரிய நீராவிக்கான P-ன் மதிப்புக்களைக் காட்டுகிறது. $T = 100°C$ வெப்ப நிலையில் $P = 1$ வளி அழுத்தம் என்பதைக் காணலாம். எனவேதான் நீரானது கடல் மட்டத்தில் 100°C வெப்ப நிலையில் கொதிக்கிறது.

மாதிரிக் கணக்கு

1400 அடி உயரமுள்ள மலையுச்சியில் காற்றழுத்தம் கடல் மட்டத்திலுள்ளதைவிட 40% குறைவாக உள்ளது. அம் மலையுச்சி யில் எந்த வெப்ப நிலையில் நீர் கொதிக்கும்?

படம் 16-11-ன்படி 0.6 வளி அழுத்தத்திற்குரிய வெப்பநிலை 86°C ஆகும். எனவே, மலையுச்சியில் இவ்வெப்ப நிலையில் நீராவி யழுத்தமும் நீரின் மீதான வளி அழுத்தமும் சமமாக இருக்கிறது. ஆகவே மலையுச்சியில் இவ்வெப்ப நிலையில் நீர் கொதிக்கும்.

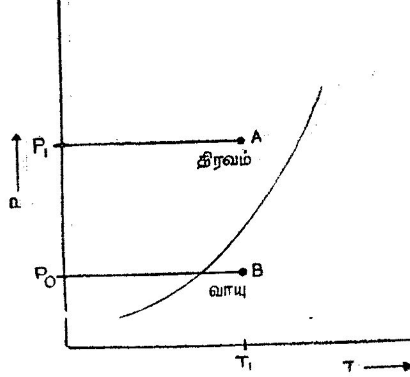
H_2O மாதிரிக் கூறு ஒன்றின் மீதான அழுத்தம் படம் 6-11-ல் உள்ள வளைகோடு குறிக்கும் அழுத்தத்தைவிட அதிகமாக இருப் பின் நீர் முழுவதும் திரவ நிலையில் இருக்கும். நீரின் மீதான அழுத்தமானது வளைகோடு குறிக்கும் அழுத்தத்தைவிடக் குறை வாக இருப்பின் அது முழுவதும் வாயு நிலையில் இருக்கும். கோடு குறிக்கும் அழுத்தம் P-ல் திரவமும் வாயுவும் சமநிலையில் ஒருங்கே அமையும்.

6-10 குமிழ்க்கலம் (Bubble chamber)

குறைவெப்ப நிலையில் கொதிக்க முயலும் திரவம்

ஒரு திரவம் உந்து தண்டு ஒன்றினுல் அமுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். உந்து தண்டின்மீதுள்ள விசையானது படம் 6-12-ல் A என்ற புள்ளிக்குரிய T_1 வெப்ப நிலையில் P_1 எனக் கொள்வோம். இப்பொழுது திடீரென உந்து தண்டு விடுவிக்கப்பட்டால் திர வத்தின் அழுத்தம் P_0 ஆகக் குறையும்; இந்நிலையைப் படம் 6-12-ல் B என்ற புள்ளி குறிக்கட்டும். இந்நிலையில் திரவமானது அது வாயு வாக இருக்கக்கூடிய அழுத்தம் மற்றும் வெப்ப நிலைக்குத் திடீரென எடுத்துச் செல்லப் பெறுகிறது. இத்தகைய சூழ்நிலைகளில் உள்ள திரவம் மீச்சூடேற்றப் பெற்ற (super heated) திரவம் என

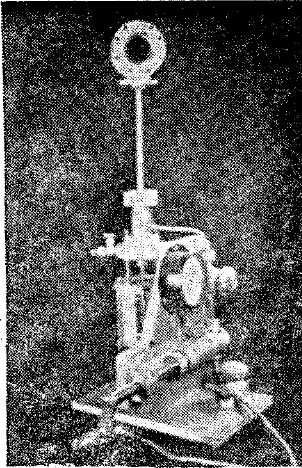
அழைக்கப்படுகிறது; அது நிலையற்றதாகும். உந்து தண்டின் மீதுள்ள அழுத்தம் நீக்கப்பட்டவுடன் பல திரவங்கள் உலோகப்



படம் 6-12

குமிழ்க் கலத்திற்கான ஆவி அழுத்தக்கோடு விரிவடையுமுன் திரவத்தின் நிலையை A என்ற புள்ளி குறிக்கிறது. B என்ற புள்ளி விரிவுக்குப் பின் திரவத்தின் நிலையைக் குறிக்கிறது.

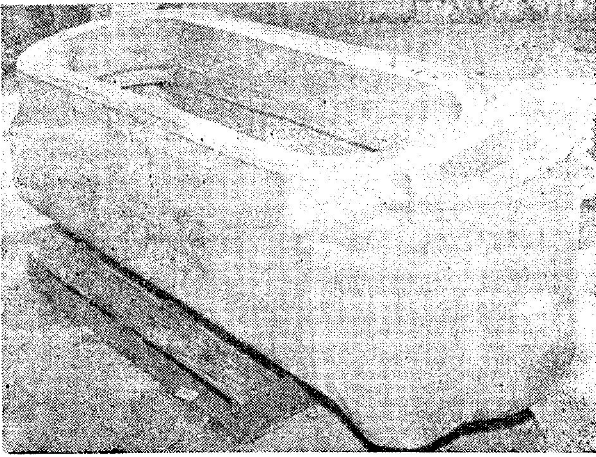
பரப்புகளின் மீது கொதிக்கத் தொடங்கும்; ஆனால் கண்ணாடிப் பரப்பின் மீது அவ்வாறு நிகழாது. எனினும், எலெக்ட்ரான் அல்லது புரோட்டான் போன்ற மின் துகள் ஒன்று அத்தகைய மீச்சூடேற்றப்பட்ட திரவத்தின் வழியே செல்லுமாயின் அதன் பாதையில் பல்வேறு புள்ளிகளில் திரவம் கொதிக்கத் தொடங்கும். ஒரு திரவம் எப்பொழுது முதலில் கொதிக்கத் தொடங்க வேண்டும் என்பதைப் பற்றிய உண்மை சரியாக விளங்கவில்லை. கண்ணாடிப் பரப்பிலின்றி மின் துகளின் பாதை வழியே கொதிக்கத் தொடங்கும் திரவத்தைப் பயன்படுத்தினால் கண்ணாடிச் சாளரம் ஒன்றின் வழியே எடுக்கப்பட்ட அத் திரவத்தின் நிழற்படம் திரவத்தினுள் சென்ற மின்துகள்களின் பாதைகளைக் காட்டும். குமிழ்க் கலப் பாதைகளின் நிழற்படங்களை 3-2, 8-7, 16-4, 16-6, 16-7 ஆகிய



படம் 6-13

உலோகத்தால் அமைக்கப்பட்ட முதல் குமிழ்க்கலம். 2அங். விட்டமுள்ள இக்குமிழ்க்கலம் 1954-ல் அமைக்கப் பட்டது. (நன்றி: D-A கிசேர்)

படங்களில் காணலாம். உலோகத்தால் அமைக்கப்பட்ட 2'' விட்டமுள்ள முதல் குமிழ்க் கலத்தைப் படம் 6-13-ல் காணலாம். இக்குமிழ்க்கலம் 1954-ல் அதனை உருவாக்கிய D-A கிளேசர் (Glazer) என்பவரால் அமைக்கப்பட்டது. 1959-ல் கலிஃபோர்னியாப் பல்கலைக் கழகத்திலுள்ள லாரென்ஸ் கதிர்வீச்சு ஆய்வுக்கூடத்தில் (Lawrence radation laboratory) L.W. ஆல்வாரெஸ் (Alvarez) என்பவரின் மேற்பார்வையில் பணியாற்றிய ஒரு குழுவால் 6 அடி நீளமுள்ள குமிழ்க்கலம் ஒன்று அமைக்கப்பட்டது. இந்தக் குமிழ்க் கலத்தை அதன் துணைக்கருவிகளுடன் படம் 6-15-ல் காணலாம். இதனைச் சக்கரங்களின் மீது நிறுத்தமுடியாத அளவுக்கு அது எடைமிக்கதாக உள்ளது. எனவே, நான்கு பெரிய கால்களின் உதவியால் அது இயங்குகிறது.



படம் 6-14

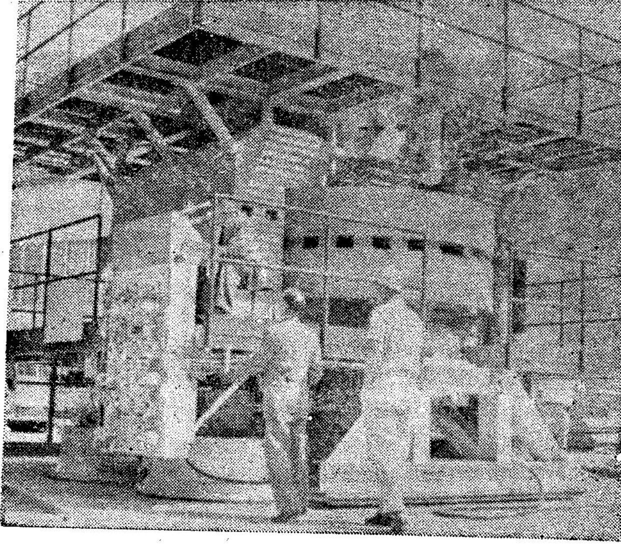
72 அங்குல நீளமுள்ள திரவ ஹைடிரஜன் குமிழ்க் கலத்திற்கான துருவேறு எஃகுப்பெட்டி. இப்படமும் அடுத்த படமும் கலிஃபோர்னியாப் பல்கலைக் கழகத்திலுள்ள லாரன்ஸ் கதிர்வீச்சு ஆய்வுக்கூடத்தின் 72அங். குமிழ்க்கலக் குழுவின் அன்பளிப்பு.

6-11 புள்ளியியல் விசையியல் (Stastical mechanics)

நடந்தது நடந்ததுவே

எந்தப் பருப்பொருளிலும் எண்ணிறந்த மூலக்கூறுகள் உள்ளன. அவற்றின் பௌதிகப் பண்புகளை விளக்குவதற்குப் புள்ளியியல் எனப்பெறும் கணிதமுறைகள் தேவைப்படு மளவுக்கு அவை

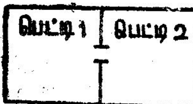
அதிகமாக உள்ளன. காட்டாக, படம் 6-16-ல் உள்ளவாறு நடுவே அடைக்கப் பட்டதும் ஒவ்வொன்றும் 1செ-மீ³ பருமனுள்ள இரு பெட்டிகளைக் கருதுவோம். பெட்டி 1-ல் உள்ள அழுத்தம்



படம் 6-15

காந்தத்துடன் கூடிய எழுபத்து இரண்டு அங். குமிழ்க்கலம் லாரன்ஸ் கதிர்வீச்சு ஆய்வுக் கூடத்தில் ஒரு கட்டடத்திலிருந்து மற்றொரு கட்டடத்திற்கு 'நடந்து' செல்கிறது.

1 வளிஅழுத்தம் எனில் பெட்டியிலுள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை $6.02 \times 10^{23} \div 22.4 \times 1000$ க-செ-மீ அல்லது 2.7×10^{19} துகள்கள்/செ-மீ³ ஆகும். தொடக்கத்தில் பெட்டி 2 காலியாக உள்ளது. இப்பொழுது இரு பெட்டிகளுக்கிடையேயுள்ள அடைப்பில் உள்ள ஒரு துளையைத் திறப்போமாயின் கண்ணிமைக்குமுன் பெட்டி 2-னுள் பாதித் துகள்கள் சென்றிருக்கும். வாயுவானது வெற்றிடத்தினுள் விரிவடைந்துள்ளது. நாம் எவ்வளவு நேரம் காத்திருந்தாலும் பெட்டி 2-க்குள் சென்ற வாயு மீண்டும் பெட்டி



படம் 6-16

வெற்றிடத்தினுள் ஒரே திசையில் மட்டும் நிகழக்கூடிய வாயுவின் பெருக்கம் பெட்டிகளுக்கிடையே அமைந்த தடுப்பில் உள்ள துளை திறக்கப்படின் பெட்டி 1-லிருந்து காலிப் பெட்டியான பெட்டி 2-க்குள் வாயுவானது விரிவடையும்.

1-க்குள் வராது. உண்மையில் பெட்டி 2-ல் உள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை சற்று மாறும். ஒரு குறிப்பிட்ட பருமனில் உள்ள துகள்களின் சராசரி எண்ணிக்கை N எனில் ஏறத்தாழ 70% நேரத்திற்கு அது $N\sqrt{N}$ முதல் $N+\sqrt{N}$ வரை இருக்குமென புள்ளியியல் கூறுகிறது. இப்பெட்டிகளை பொறுத்தவரையில் துகள்களின் எண்ணிக்கை $(1.35 \times 10^{19} \pm \sqrt{1.35 \times 10^{19}}) = (1.35 \pm 0.0000000037) \times 10^{19}$ ஆகும். துகள்களின் எண்ணிக்கையில் ஏற்படக்கூடிய மாறுதல் உணரமுடியாத அளவுக்கு மிகச் சிறிய அளவாயிருப்பதைக் காணலாம்; மேலும், அந்த மாறுதலானது பெட்டி 2-ல் துகள்களே இல்லாத அளவுக்குப் பெருமளவிலும் ஏற்பட முடியாது என்பதையும் காணலாம்.

துளையைத் திறந்தபின் பெட்டி 1-லுள்ள துகள்களில் பாதி பெட்டி 2-க்குள் சென்றவுடன் காலத்தைத் திடீரென நிறுத்திப் பின்னோக்கிச் செல்லுமாறு செய்வதாகக் கொள்வோம். பௌதிக விதிகளின்படி காலம் பின்னோக்கிச் செல்லமுடியாது. எனினும் வாயு விரிவடையும் சோதனையை இயங்கு திரைப்படமெடுத்து வீழ்த்தியில் அதனைப் பின்னோக்கி ஓட்டிப் பார்ப்பதன் மூலம் காலம் பின்னோக்கிச் செல்வதால் என்ன நிகழும் என்பதனைக் காணலாம். அவ்வாறு காண்போமாயின் பெட்டி 2 தானாகவே காலி செய்துகொண்டு வெற்றிடத்தை உருவாக்கும். இது ஒரு புதிராகும். இயற்கையில் ஒரு பெட்டியானது வெளிக்காற்றுடன் தொடர்பு கொண்டிருக்கும்போது தானாகவே காலி செய்து கொண்டு ஒரு வெற்றிடத்தை உருவாக்க முடியாது என்பதை நாம் அறிவோம். எனினும் இயங்கு திரைப்படத்தைப் பின்னோக்கி ஓட்டிக் காணக்கூடிய நிகழ்ச்சியில் நியூட்டன் விதிகளுக்கு முரணாக எதுவும் நிகழவில்லை. உண்மையில், திரைப்படமானது பெட்டி 2-ல் உள்ள துகள்கள் யாவும் அதனை விட்டு வெளியேறும்வகையில் இயங்கவும் ஒன்றுடன் ஒன்று மோதிக்கொள்ளவும் தேவையான துகள்களின் நிலைகள் மற்றும் திசைவேகங்களின் திட்டவட்டமான அமைப்பைப் பற்றி நமக்குக் கூறுகிறது. துகள்கள் பெட்டி 2-ஐ விட்டு வெளியேறும் நிகழ்ச்சியில் பௌதிக விதிகள் எதுவும் மீறப்படவில்லை. அவ்வாறாயின் இப்புதிருக்கான விடை என்ன? பெட்டி 2-னுள் உள்ள துகள்களின் இந்த ஒரு திட்டவட்டமான அமைப்புக்கு (Configuration) அத் துகள்கள் இரு பெட்டிகளிலும் ஏறத்தாழ சமஅளவில் இருப்பதற்கான எண்ணிறந்த அமைப்புக்கள் (Configurations) உள்ளன என்பதை நோக்குவதன் மூலம் இப் புதிருக்கான தீர்வு காணலாம். இவ்வாறாக பெட்டி 2-லிருந்து எல்லாத் துகள்களும் வெளியேறுவதை அனுமதிக்கும் அமைப்பு (Configuration) இருப்பினும் அது

ஒருபோதும் நிகழ்வதில்லை. எனவே, தத்துவ ரீதியில் வெற்றிடமானது 'தானே உருவாகக் கூடிய' ஒரு நிலையைப் பெறமுடியுமாயினும் வெற்றிடத்தினுள் வாயு ஒன்று விரிவடையக்கூடிய நிகழ்ச்சியானது ஒருதிசை நிகழ்ச்சியேயாகும்.

புள்ளியியலின் காரணமாக எதிர்த்திசையில் விளையமுடியாத நிகழ்ச்சிக்கான மற்றொரு எடுத்துக்காட்டு மிகுந்த வெப்ப நிலையிலிருந்து குறைந்த வெப்பநிலைக்கு வெப்பம் செல்வதாகும். வெப்பமான உலோகத்துண்டு ஒன்றையும் குளிரான உலோகத் துண்டு ஒன்றையும் சேர்த்து வைத்தால் வெப்பமானது குளிர்ந்த துண்டிலிருந்து வெப்பமான துண்டிற்கு ஒரு போதும் செல்லாது. அவ்வாறு முடியுமாயின் ஒரு உலோகத் துண்டிலிருந்தோ கடலிலிருந்தோ வெப்பத்தை ஏற்று ஒரு நீராவி எஞ்சினை இயக்கப் பயன் படுத்தலாம். கோடானு கோடி ஆண்டுகளுக்கு மனிதனுடைய தேவைகளைப் பூர்த்தி செய்யக் கூடிய அளவுக்கு வெப்ப ஆற்றலானது கடலில் அடங்கியுள்ளது. எனினும் அவ்வாறு இறைந்து கிடக்கும் நீர் மூலக்கூறுகளின் ஆற்றலை ஒரு இயந்திரத்தின் ஒழுங்கான இயக்கமாக மாற்றுவதென்பது புள்ளியியலின்படி முடியாத தொன்றாகும். ஒற்றை வெப்பக் கிடங்கு ஒன்றிலிருந்து எடுக்கப்பட்ட வெப்பத்தைக் கொண்டு இயக்கப்படும் எந்திரம் இரண்டாம் வகை அகவிசையியக்க (perpetual motion) எனப்பெறும். அத்தகைய எந்திரம் ஆற்றல் அழிவின்மை விதிக்கு அப்பாற்பட்டதல்ல. அத்தகைய எந்திரம் வேலை செய்யும்போது வெப்பக் கிடங்கின் வெப்பநிலை குறைய வேண்டு மென்பதே ஆற்றல் அழிவின்மை விதியின் கூற்றாகும். வெப்பம் கடந்து நிகழ்ச்சிகளுக்கு ஆற்றல் அழிவின்மைவிதி பயன் படும்போது அது வெப்ப இயக்கவியல் முதல் விதி எனப் பெறுகிறது.

வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதி

மேற்கூறப்பட்ட இரு எடுத்துக்காட்டுகளான கடலிலிருந்து பயனுறு வெப்பம் பெறுதலையும் வெற்றிடம் தானே உருவாதலையும் மறுக்கும் ஏதோ ஒரு புதிய விதி இருக்க வேண்டும். ஹம்ப்டி டம்ப்டி (Humpty Dumpty) மூன்றுவது எடுத்துக் காட்டாகும். வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியே அத்தகைய விதியாகும்; அது புள்ளியியல் அல்லது பெருமளவு எண்ணிக்கைகளின் கணிதவியலின் விளைவாக உருவானதாகும். இந்த வகையில் இந்நிகழ்ச்சிகளில் புதிய அடிப்படைப் பௌதிகத் தத்துவம் எதுவும் பங்கு பெறவில்லை-அது எண்ணற்ற துகள்களின் கணிதவியலின் விளைவேயாகும். இரண்டாம் வகை அக விசையியக்க எந்திரம் நடைமுறையில் முடியாத தொன்றாகும் என்பதே வெப்ப இயக்கவியல்

இரண்டாம் விதியாகும். இது அவ்விதியைக் கூறுவதற்கான ஒரு முறை. மற்றொருமுறை யாதெனில்: அண்டத்திலுள்ள குழப்ப நிலையின் (எண்ட்ரொர்பி-entropy-என அழைக்கப்படுகிறது) மொத்த அளவு கூடுமேயன்றி ஒரு போதும் குறையாது என்பதாகும்.

காலத் திருப்பம்

வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியை ஒரு கணிதச் சமன்பாடாகக் குறிப்பிடும் பொழுது அது, காலமானது முன்னோக்கிச் செல்கிறதா அல்லது பின்னோக்கிச் செல்கிறதா என்பதைப் பொறுத்து முற்றிலும் வேறுபட்ட பௌதிக விளைவைக் கொடுக்கிறது என்பதை நாம் காண்கிறோம். இது முற்றிலும் புள்ளியியலின் விளைவே என்றும் இவ்வகையில் வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியானது உண்மையில் ஒருபுதிய விதியோ அல்லது அடிப்படைப் பௌதிகத் தத்துவமோ அல்ல என்றும் முற்பகுதி விளக்க முயலுகிறது. அது, துகள்களின் எண்ணிக்கை மிகப் பெருமளவில் இருக்கும்போது மட்டுமே பொருந்தக் கூடிய ஒரு புள்ளியியல் பேரளவியல் (stastical macroscopic) வருணனையாகும். அதனை நியூட்டன் விதியினின்றும் இயக்கக் கொள்கையினின்றும் கணிதவியலின் (புள்ளியியலின்) உதவியுடன் பெறலாம். மாறாக நியூட்டன் விதிகளுக்குப் புள்ளியியலைப் பயன் படுத்துவதன் மூலம் பௌதிகத்தின் முற்றிலும் புதிய பகுதி ஒன்று நமக்குக் கிடைக்கிறது. அது வெப்பநிலை போன்ற பௌதிகக் கருத்துக்களை நமக்குத் தருகிறது.

இதுவரை நாம் கண்ட இயற்கையின் உண்மையிலேயே அடிப்படைத் தன்மை வாய்ந்த விதிகள் யாவும் காலத்திருப்பம் பெற்றவையாகும். காலத்திருப்பம் எனில் எல்லாத் துகள்களின் (சுழற்சி உள்ளிட்ட) எல்லா இயக்கங்களின் திசைகளையும் நேர் மாறாக்கினும் (காலம் முன்னோக்கிச் செல்லும்போது பொருந்தக் கூடிய) அதே சமன்பாடுகளும் அல்லது பௌதிக விதிகளும் பொருந்தும். இயற்கையின் மிகவும் அடிப்படைத்தன்மை வாய்ந்த இந்த சீரமைவுத் தத்துவமானது (symmetry principle) முரண்பாடு ஏதேனுமிருப்பின் அறிவிக்கக்கூடிய சோதனைகளின் மூலம் அண்மையில் சரிபார்க்கப்பட்டது. இதுவரை முரண்பாடு எதுவும் காணப்படவில்லை. மாறாக, மிகவும் அடிப்படைத்தன்மை வாய்ந்த வேறு இரு சீரமைவுத் தத்துவங்களை (ஒப்புமை-parity-அழிவின்மை, ஆன்டித் துகள்—antiparticle—சீரமைவு) காலத் திருப்பத்திற்குச் சரிபார்த்தபோது முரண்பாடுகள் தென்பட்டன. 'புனிதமான' இவ்விரு சீரமைவுத் தத்துவங்களும் எவ்வாறு பொய்ப்பிக்கப் பட்டன என்பதைப்பற்றி 16-ஆம் இயலில் காணலாம்.

கணக்குகள்

1. உன்மீதுள்ள அழுத்தத்தைப்போல் இருமடங்கு அழுத்தத்தை உணர ஏரியினுள் எவ்வளவு ஆழம் மூழ்கவேண்டும்?

2. 50 அடி ஆழமுள்ள கிணறு ஒன்றிலிருந்து நீரை வெளியேற்ற ஒரு முறையை அமைக்க.

3. நியூயார்க் மாநிலத்தின் விரிவான நீர்ப்பாசனத் திட்டங்கள் இருந்தபோது ஒரு ஆற்றின்மீது அமைக்கப்பட்ட பாலத்தின் வழியாக அந்த ஆற்றை ஒரு கால்வாய் கடந்து சென்றது. அக்கால்வாயில் 10^6 கி.கி நிறையுள்ள ஒரு படகு சென்ருல் பாலத்தின் மீது செயற்படும் பளுவில் ஏற்படும் அதிகரிப்பைக் கணக்கிடுக. படகின் சராசரி அடர்த்தி 0.8 கி/செ.மீ^{3}.

4. மெய்ச்சுழி வெப்பநிலையிலிருக்கும் நீரிலிருந்து வெப்பத்தைப் பெறமுடியுமா ? விளக்குக.

5. ஒலிப்பெட்டி ஊசி ஒன்றிற்கும் நீண்டநேர இசைத்தட்டு ஒன்றிற்கும் இடையேயுள்ள தொடுநிலைப்பரப்பு 10^{-3} அங். விட்டமுள்ள ஒரு வட்டமாகும். ஊசியானது g-ன் 5 கிராம் மடங்கு விசையை செயற்படுத்துமாயின் அழுத்தத்தை டைன்/செ.மீ^{2} அடிப்படையில் கணக்கிடுக.

6. நீரியல் பாரந்தூக்கி ஒன்றின் உந்து தண்டுகளின் விட்டங்கள் 1 செ.மீ, 5 செ.மீ ஆகும்.

a) பெரிய உந்து தண்டின்மீது வைக்கப்பட்ட 15 நியூட்டன்கள் எடையுள்ள ஒரு பொருளைத் தூக்குவதற்கு சிறிய உந்து தண்டின்மீது செயற்படுத்தவேண்டிய விசையின் அளவு என்ன?

l) சிறிய உந்து தண்டு 0.1 மீ நகரும்போது பொருள் எவ்வளவு உயரம் தூக்கப்படும்?

7. வானிலைப் பலூன் ஒன்றின் நிறை (அதனுள் அடைக்கப்பட்டிருக்கும் வாயுவின் நிறையையும் சேர்த்து) 50 கி.கி; பருமன் 110மீ^{3}. அது புவிப்பரப்புடன் ஒரு கயிற்ருல் கட்டப்பட்டுள்ளது. காற்றின் அடர்த்தி 1.3 கி.கி/மீ^{3}.

a) கயிறு செங்குத்தாக இருப்பின் அதன் இழுவிசை என்ன?

b) கயிருனது செங்குத்து நிலைக்கு 30° கோணத்தில் அமையுமாறு காற்று வீசினுல் கயிற்றின் இழுவிசை என்ன?

8. இயல்பான சூழல்களில் ஒரு பொருளின் எடை 300 நியூட்டன்கள், நீரினுள் அதன் எடை 200 நியூட்டன்கள்.

a) அதன் அடர்த்தி என்ன?

d) அதன் பருமன் என்ன?

9. 1 வளி அழுத்தம் அழுத்தத்திலுள்ள ஒரு வாயுவின் வெப்பநிலை 100°C-லிருந்து 0°C-க்குக் குறைகிறது. அதன் பருமன் மாறுமலிருக்க அதன் அழுத்தத்தில் செய்ய வேண்டிய மாறுதல் என்ன?

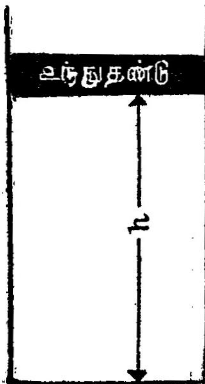
10. 1 செ.மீ^{3} கனசதுரப் பனிக்கட்டி ஒன்றின் அடர்த்தி 0.9 கி/செ.மீ^{3}, அதன் உச்சி நீர்ப் பரப்பிலிருந்து எவ்வளவு உயரத்தில் மிதக்கும்?

11, 0.8 கி/செ.மீ^{3} அடர்த்தியுள்ள மரக்கட்டை ஒன்று 1.2கி/செ.மீ அடர்த்தியுள்ள திரவத்தில் மிதக்கிறது. கட்டையின் முழுப்பருமன் 36 செ.மீ^{3}.

a) கட்டையின் நிறை என்ன?

b) இடம் பெயர்க்கப்பட்ட திரவத்தின் நிறை என்ன?

c) திரவப் பரப்பிற்கு வெளியே தெரியும் கட்டையின் பருமன் என்ன?



12. உராய்வின்றி நகரக் கூடிய உந்து தண்டுடன் கூடிய ஒரு உருளையில் வாயு ஒன்று அடைக்கப் பட்டுள்ளது. வாயுவின் பருமன் 0.5மீ^{3}; உயரம் 1.0 மீட்டர். உந்து தண்டின் எடை 5×10^4 நியூட்டன்கள். வளி அழுத்தம் 10^5 நியூட்டன்கள்/மீ^{2}.

a) வாயுவின் அழுத்தம் என்ன?

b) வெப்பநிலை மாறுமல் *h*-ஐ 0.6 மீக்குக் குறைக்க உந்து தண்டின் மீது செயற்படுத்த வேண்டிய அதிக விசை என்ன?

13. 0.8 அடர்த்தியுள்ள 1 செ.மீ. கன சதுரம் ஒன்று நீரில் மிதக்கிறது. வெப்பநிலை 50°C-க்கு உயர்த்தப் பட்டபோது கன சதுரத்தின் பக்கங்கள் 10% விரிவடைகின்றன. இடம் பெயர்க்கப்

பட்ட நீரின் பருமனில் ஏற்றப்பட்ட மிகுதிபாடு என்ன? (இரு வெப்ப நிலைகளிலும் நீரின் அடர்த்தியை 1கி/செ.மீ^{3} எனக் கொள்க)

14. நீரினுள் ஒரு கிராம் ஹைடிரஜனைக் கொண்டுள்ள ஒரு நீர்க்குமிழி அறைவெப்பநிலை (21°C)யில் 5.6×10^3 செ.மீ^{3} பருமனைக் கொண்டுள்ளது.

a) வாயுவின் அழுத்தம் என்ன ?

b) குமிழி, நீரினுள் எவ்வளவு ஆழத்தில் உள்ளது ? நீர்ப் பரப்பிற்கு மேல் உள்ள வளி அழுத்தம் 10^6 டைன்கள்/செ.மீ^{2}.

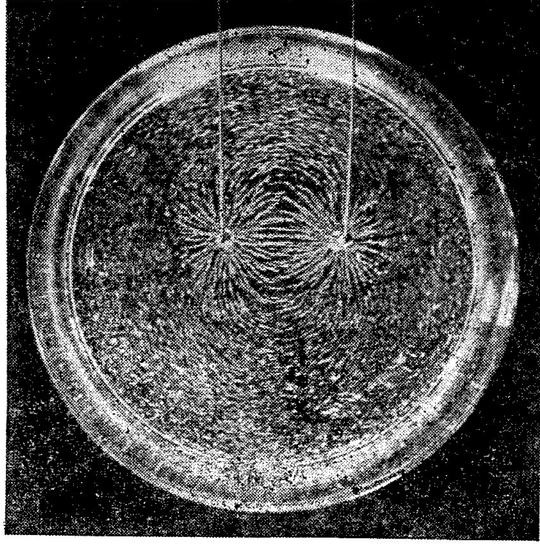
15. மனிதன் உருவாக்கக்கூடிய மிகச் சிறந்த வெற்றிடம் 10^{-14} செ.மீ. பாதரச அளவாகும். இத்தகைய வெற்றிடத்தில் 1 செ.மீ^{3} பருமனில் இருக்கக் கூடிய மூலக்கூறுகள் எத்தனை? விண்மீனிடை வெற்றிடத்தில் (vacunm of interstellar space) ஒரு செ.மீ^{3}-ல் சுமார் ஒரு புரோட்டான் உள்ளது.

16. ஹைடிரஜன் குண்டுவெடிப்பு ஒன்றின்போது 10^8 டிகிரிகள் சென்டிகிரேடு வெப்பநிலை உருவாகியது. இத்தகைய உயர்ந்த நிலையிலுள்ள வாயுவில் தனி ஹைடிரஜன் அணுக் கருக்கள் அல்லது புரோட்டான்களும் பல டியூட்ரான்களும் (deutrons-புரோட்டானின் நிறையைப்போல் இருமடங்கு நிறை கொண்டவை) உள்ளன.

a) புரோட்டான்களின் சராசரித் திசைவேகம் என்ன?

b) வெப்பநிலைச் சமநிலை இருப்பதாகக் கொண்டால் ஒரு புரோட்டானுக்குரிய சராசரி இயக்க ஆற்றலுக்கும் டியூட்ரானுக்குரிய சராசரி இயக்க ஆற்றலுக்கும் உள்ள தகவு என்ன !

17. இலட்சிய வாயு ஒன்று P அழுத்தத்திலும் T மெய் வெப்பநிலையிலும் V பருமனைக் கொண்டுள்ளது. ஒவ்வொரு மூலக் கூறின் நிறை m. பின்வரும் கோவைகளுள் எது வாயுவிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கிறது? PV/m, k/PVT, m/k, kT/V, PV/kT? பின்வருவனவற்றுள் எது வாயுவின் அடர்த்தியைக் குறிக்கிறது? mkT, m/V, Pm/kT, P/kTV, P/kT?



நிலை மின்னியல்
(ElectroStatics)

இயல் 7

நிலை மின்னியல்

7-1 பருப்பொருளின் எலெக்ட்ரானியல் அமைப்பு

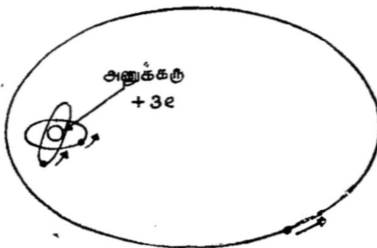
எலெக்ட்ரான்களை எங்கே காண்பது

பௌதிகத்தின் பெரும் பகுதி மின்சாரத்தையும் அதன் பயன்களையும் பற்றியதாகும். அப் பயன்களுள் ஒன்று ஒளியின் மின்காந்தக் கொள்கை என அறியலாம். எனவே, ஒளியியல் முழுவதையும் மின்சாரவியலின் ஒரு துணைப்பகுதியாகக் கருதலாம். மற்றொரு மிக முக்கியம் வாய்ந்த தலைப்பு சார்புக் கொள்கையாகும்; மின்சாரவியல் சமன்பாடுகள் எல்லாச் சுட்டமைப்பு (frame of reference)க்களிலும் ஒரே வடிவில் அமைய வேண்டும் எனக் கருத்திற் கொள்வோமாயின் மின்சாரவியல் கொள்கையிலிருந்து சார்புக் கொள்கையைப் பெறலாம். அணு பௌதிகத்தில், திண் பொருளியல் பௌதிகத்தில், மூலக்கூறியலில் வேதியியலில் எலெக்ட்ரான்-எலெக்ட்ரான் மற்றும் எலெக்ட்ரான்—அணுக்கரு ஆகிய மின்காந்த செயலெதிர்ச் செயல்களைப்பற்றிப் படிக்கிறோம். இவ்வாறாக இந் நூலின் எஞ்சியுள்ள பகுதி முழுவதும் ஏதோ ஒருவகையில் மின்சாரவியலைப்பற்றிக் கூறுகிறது.

இந் நூலைப் பயிலும் மாணவன் அணு அமைப்பைப்பற்றிய பொதுக் கருத்தைப் பெற்றிருக்கிறான் என்று கருதப்படுகிறது. அணுக்கருவை வலம் வரும் ஏலெக்ட்ரான்களைக் காட்டும் அணுக் குறியீடுகளை (atomic symbols)த் தினந்தோறும் செய்திப் பத்திரிகைகளிலும், வார இதழ்களிலும், T.V-லும், குழந்தைகளுக்கான விளையாட்டுப் பொம்மைகளிலும் மற்றும் சிற்றுண்டிப் பெட்டிகளிலும் காணலாம். ஒரு அணு ஏறத்தாழ 10^{-8} செ.மீ விட்டத்தைக் கொண்டுள்ளது; அதில் ஒரு நேர்மின்னூட்டங்கொண்ட கனமான சிறிய அணுக்கருவும் அதனைச் சுற்றி வலம் வரும் எதிர் மின்னூட்டங்கொண்ட இலேசான எலெக்ட்ரான்களும் உள்ளன. நேர்மின்னூட்டம், எதிர்மின்னூட்டம் என்ற சொற்களை முதலில் வரையறுக்காமல் முதன் முதலாக இங்கு பயன்படுத்துவதைக்

காணலாம். அடுத்துவரும் பிரிவு முழுவதும் மின்னூட்டம் என்ற இப் புதிய முக்கியமான கருத்தைப் பற்றியதாகும்.

வழக்கில் கையாளப்படும் அணுக்குறியீடுகள் 1914-ல் நீல்ஸ் போஹ்ர் (Niels Bohr) என்பவரால் வெளியிடப்பட்ட அணு அமைப்புக் கொள்கையை அடிப்படையாகக் கொண்டவையாகும். படம் 7.1 போஹ்ரின் கருத்தின் அடிப்படையில் லிதியம் (Lithium)



போஹ்ர் கருத்திற்கேற்ப வரையப் பட்ட லிதியம் அணுவின் உருப் படிவம், ஒவ்வொன்றும்-*e* மின் னூட்டம் கொண்ட மூன்று எலெக்ட் ரான்கள் + 3e மின்னூட்டங் கொண்ட அணுக்கருவைக் கோளி யல் பாதைகளில் வலம் வரு கின்றன.

படம் 7-1

அணுவைக் குறிக்கிறது. லிதியத்தின் அணு எடை 7; அணு எண் 3 ஆகும். லிதியம் அணுக்கருவானது நேர்மின்னூட்டம் பெற்ற மூன்று புரோட்டான்களாலும் மின்னூட்டமற்ற நான்கு நியூட்ரான்களாலும் ஆனது. எலெக்ட்ரான்கள் எதிர்விகித இருமடி விசை ஒன்றினால் அணுக்கருவை நோக்கி ஈர்க்கப் படுவதாகக் கொள்வோம். அவ்வாறாயின் நியூட்டன் நிறுவி யுள்ளபடி கோளியல் பாதைகளில் அணுக்கருவை வலம் வரும் எலெக்ட்ரான்களுடன் கூடிய ஒரு ஒற்றை அணுக்கரு ஒரு நுண்ணிய சூரிய மண்டலத்தை ஒக்கும். அணுக்கருவையும் எலெக்ட்ரான்களையும் ஒன்றாகப் பிணைத்து வைத்திருப்பது ஈர்ப்பு விசையே என ஒருவர் முதலில் கருதக்கூடும். அது அவ்வாறாயின் அணுக்கள் ஒன்றுக்கொன்று எவ்வளவு அருகில் இருந்தாலும் எப்போதும் ஒன்றையொன்று ஈர்க்கும். அதன் பயனாய் பருப் பொருளானது புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள், நிலையான எலெக்ட்ரான்களாலான ஒரு மாபெரும் அணுக்கருவாகும்வரை இறுக்கப்படும். திரவங்களையும் திடப் பொருட்களையும் இறுக்குவது மிகவும் கடினமாதலால் அணுக்கள் இறுக்கப்படும்போது அவற்றிற் கிடையே வலிமைமிக்க ஒதுக்கு விசைகள் செயற்படுகின்றன என்பதை நாமறியலாம். எனவே, ஈர்ப்பு விசையைவிட வலிமை மிக்க, புதியவகை ஈர்ப்பு விசை ஒன்று இருக்கவேண்டும். இப் புதிய விசையை விளக்குவதற்கு நிலைமின்விசை அல்லது கூலும் விசை என்னும் விசை தேவைப்படுகிறது; இதுவும் ஒருவிகித இருமடி விசையேயாகும். நிலைமின் விசைக்கும் ஈர்ப்பு விசைக்கும்

உள்ள ஒரு வேறுபாடு யாதெனில் நிலைமின் விசையானது ஒத்த மின்னூட்டங்களிடையே ஒதுக்கு விசையாகவும் மாறுபட்ட மின்னூட்டங்களிடையே ஈர்ப்பு விசையாகவும் அமைகிறது. நிலைமின்விசையின் பயனாய் புரோட்டான்களும் அணுக்கருக்களும் ஒன்றையொன்று ஒதுக்குகின்றன; ஆனால் எலெக்ட்ரான்கள் அணுக் கருக்களை நோக்கி ஈர்க்கப்படுகின்றன. மேலும், இரு எலெக்ட்ரான் களுக்கிடையே செயற்படும் நிலைமின் ஒதுக்கு விசையானது அவற்றிற்கிடையே இருக்கக்கூடிய ஈர்ப்பு விசையைப்போல் 4.17×10^{42} மடங்கு உள்ளது!

உண்மையில் எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவை கோளியல் பாதைகளில் (planetary orbits) வலம் வருகின்றன என்று கூறுவது சரியாகாது. அத்தகைய கூற்று 12ஆம் இயல் முதற்கொண்டு ஆராயப்படும் நவீன குவான்டம் விசையியலுக்கு முரண்பட்ட தாகும். எனினும், குவான்டம் கொள்கையிலும் வலம் வரும் எலெக்ட்ரான்களை அணுக்கருவுடன் பிணைக்கும் வகையில் நிலைமின் விசையானது பங்கு பெறுகிறது. படம் 7-1-ல் உள்ள அணு அமைப்பிற்குப் பதிலாக உள்ள நவீன எலெக்ட்ரான் அலை அமைப்பை இயல் 13-ல் காணலாம்.

7-2 மின்னூட்டம் என்னும் கருத்து

யாவும் கருத்தளவே

எல்லாவகை நிலைமின்விசைகளைப் பற்றியும் கூறும் கூலம் விதியை நாம் அறியும்வரை மின்னூட்டத்தைப் பற்றிய பண் பியல் வரையறையை நாம் பெறமுடியாது. கூலம் விதியைப் பற்றிக் கூறுமுன் மின்னூட்டத்தின் சில பண்புகளைப் பற்றி ஆராய்வது பயனுள்ளதாக இருக்கும். காட்டாக, மின்னூட்டம் என்பது கூட்டற் பண்புடையதா? அதனை அழிக்க முடியுமா?

தற்கால மனிதன் அவனது சட்டையையோ கோட்டையோ கழற்றும்போதோ அல்லது ஈரமற்ற நாட்களில் தரை விரிப்பில் நடக்கும் போதோ உண்டாகும் மின்பொறிகளைப் பார்த்து வியக் கிறான். அதைப்போலவேதான் முற்கால மனிதனும் முதன் முதலில் மின்னூட்டத்தின் விளைவுகளை நோக்கினான். இவ் விளைவுகள் இருவகைத் தொடர்பு கொள்வதால் ஏற்படுகின்றன; அவை மின்னூட்டுவித்தல் (Charging) என அழைக்கப் பெற்றன. மின்னூட்டுவித்தலின் விளைவுகளை முற்கால கிரேக்க அறிஞர்கள் ஆராய்ந்துள்ளார்கள்.

A என்ற ஒரு பொருள் B என்ற பொருளுடன் தேய்க்கப்படு வதாகக் கொள்வோம். அவ்வாறு தேய்க்கப்படும்போது A-லுள்ள

சில எலெக்ட்ரான்கள் B-லுள்ள சிலவற்றுடன் செயலெதிர்ச் செயற்படுகின்றன. அவற்றுள் சில A-ஐ விட்டு B-க்கும் சில B-ஐ விட்டு A-க்கும் சென்றடைகின்றன. A-ன் புற எலெக்ட்ரான்கள் B-ன் புற எலெக்ட்ரான்களைப் போல அணுக்கருவுடன் வலிமையாகப் பிணைக்கப்படாவிட்டால் அவ்விரு பொருட்களையும் பிரிக்கும்போது A-யிலுள்ள சில எலெக்ட்ரான்கள் B-க்குச் சென்றிருக்கும். எனவே A-ஆனது ஒரு நிகர நேர் மின்னூட்டத்துடனும் B-ஆனது அதே அளவு நிகர எதிர் மின்னூட்டத்துடனும் அமையும். மின்னூட்டத்தைப் பொறுத்தவரை நேர், எதிர் என்னும் சொற்கள் மனப்போக்காக ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டவையே. எலெக்ட்ரான்கள் எதிர் மின்னூட்டம் பெற்றவை என்ற தற்கால மரபை நிறுவியவர் பெஞ்சமின் ஃபிராங்க்லின் (Benjamin Franklin) என்பவராகும். அவர், பட்டுத்துணி ஒன்றுடன் தேய்க்கப்பட்டு மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட கண்ணடித் தண்டு ஒன்றில் உள்ள மின்னூட்டத்தை நேர் மின்னூட்டமாக மனப்போக்காக வரையறுத்தார். பின்வரும் இயல்களில் கடத்திகளிலும் மின்கடத்திக் குழாய்களிலும் (Vaccum tubes) விளையும் மின்னோட்டங்களைப் பற்றிப் படிக்கும்பொழுது பெஞ்சமின் ஃபிராங்க்லின் அத்தகைய மின்னூட்டத்தை எதிர் மின்னூட்டமாக வரையறுத்திருந்தால் எளிதாயிருக்கும் என்பதை நாம் உணர்வோம். ஃபிராங்க்லினின் வரையறைப்படி மின்னோட்டமானது மின்னூட்டங்களின் உண்மையான இயக்கத் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் உள்ளது. கடத்திகளிலும் கடத்திக் குழாய்களிலும் மின்னோட்டமானது எதிர் மின்னூட்ட எலெக்ட்ரான்களின் இயக்கத்தால் விளைகிறது. எலெக்ட்ரான்கள் கண்டுபிடிக்கப்படுவதற்கு ஏறத்தாழ நூறு ஆண்டுகளுக்கு முன்னரே ஃபிராங்க்லின் மின்னூட்டத்தைப் பற்றிய கொள்கையை வெளியிட்டதால் இவ்வாறு குழப்பத்தை விளைவித்ததற்காக ஃபிராங்க்லினை நாம் குறை கூறுவது அழகன்று.

மின்னூட்டத்தைப் பற்றிய கருத்து நிறையைப் பற்றிய கருத்தைப் பல வகைகளில் ஒத்துள்ளது. எவ்வாறு ஒரு பொருளோ அல்லது துகளோ நிறை என்ற ஒரு கற்பனைப் பண்பைக் கொண்டுள்ளதோ அவ்வாறே ஒரு பொருளோ அல்லது துகளோ ஒரு உள்ளார்ந்த மின்னூட்டத்தையும் பெற்றுள்ளது. அது நேர் மின்னூட்டமாகவோ, எதிர் மின்னூட்டமாகவோ அல்லது சுழியாகவோ இருக்கலாம். நிறையைப் பற்றிய முழுதும் கற்பனைவயமான கருத்தொன்றை அறிமுகபடுத்துவதன் மூலம் செயலெதிர்ச் செயற்படும் பொருட்களுக்கான (அவற்றின் சார்பு முடுக்கங்கள் போன்ற பிற) கணக்கீடுகள் மிகவும் எளிதாக்கப்பட்டிருப்பதை நாம் காணலாம். அவ்வாறே மின்னூட்டம் என்ற

கருத்தை அறிமுகப்படுத்துவதன் மூலம் ஒரு அணுவை ஒன்றித்து வைத்திருக்கக்கூடிய அதே நேரத்தில் இரு அணுக்களைத் தனித் தனியே பிரித்து வைக்கக்கூடிய இப் புதியவகை விசையை பற்றிய எளிய விளக்கத்தைப் பெறலாம். பின்வரும் கூற்று மின்னூட்டத்தைப்பற்றிய உண்மையை விளக்கும். ''ஒரு எலெக்ட்ரான் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு எதிர்மின்னூட்டந்தைப் பெற்றுள்ளது என நான் கூறும்போது அது குறிப்பிட்ட வகையில் செயற்படுகிறது என்றே குறிப்பிடுகிறேன். மின்னூட்டம் என்பது வேண்டும்போது எலெக்ட்ரானின்மீது பூசி, பின்னர் எடுத்துவிடும் வகையில் அமைந்த சிவப்பு வண்ணத்தைப்போன்ற ஒரு பொருளன்று; அது ஒரு சில பௌதிக விதிகளின் வசதியான பெயரேயாகும்.*

மின்னூட்டம் என்பது எப்படிப்பட்டது என்ற கேள்வி எழலாம். ஒரு பொருளுக்கு முதலில் Q_1 என்ற மின்னூட்டத்தையும் பின்னர் Q_2 என்ற மின்னூட்டத்தையும் கொடுத்தால் பொருளிடத்து உள்ள நிகர மின்னூட்டம் $Q_1 + Q_2$ ஆகுமா? மின்னூட்டத்தை ஆக்கவோ அழிக்கவோ கூடிய முறை ஏதேனும் உள்ளதா? காட்டாக, சுழி ஓய்வு நிறையை உடைய ஃபோட்டானைக் கொண்டு எலெக்ட்ரான்—பாசிட்ரான் (positron—நேர்மின் எலெக்ட்ரான்) சோடி (pair) வினைவாக்கத்தில் ஓய்வு நிறையை உருவாக்கலாம். இங்குள்ள வினவிற்கான விடை என்னவெனில் மின்னூட்ட அழிவின்மை என்பது சற்றும் முரண்படாத பௌதிக விதியாகும். பௌதிகத்தின் மற்ற அடிப்படை விதிகளைப் போன்று இவ் விதிக்கும் நேரடி நிரூபணம் எதுவும் கிடையாது. பலவகைப்பட்ட சோதனைகளுக்கும் ஈடுகொடுத்துச் சற்றும் தலைவணங்காது நிற்பது ஒன்றே அழிவின்மை விதிகளுக்கும் இயற்கையின் மற்ற விதிகளுக்கும் உரிய நிரூபணமாகும். இதுவரை இந் நூலில் மிகவும் சரியானதென (எவ்வகை முரண்பாடுமற்றதாக)க் கருதப்படும் ஐந்து அழிவின்மைகளைக் கண்டோம். அவையாவன:

1. மொத்த ஆற்றல் அழிவின்மை

இங்கு $W_0 = M_0c^2$ என்ற ஓய்வு ஆற்றலையும் உள்ளடக்கும் சார்பியல் ஆற்றலைக் கருத வேண்டும்.

2. நேர் கோட்டு உந்த அழிவின்மை

இங்கு, திசைவேகம், சார்பியல் நிறை அகியவற்றின் பெருக்கற்பலனான சார்பியல் உந்தத்தைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.

3. கோன உந்த அழிவின்மை

* Bertrand Russel, *ABC of Atoms*, E.P Dutton 1923.

4. கனத் துகள்களின் அழிவின்மை

புரோட்டான்கள் நியூட்ரான்கள் மற்றும் சில கனத் துகள் களின் மொத்த எண்ணிக்கை மாறாமல் இருக்க வேண்டும் என்ற நிபந்தனைக் கிணங்க ஓய்வு நிறையை ஆற்றலாக மாற்றலாம்.

5. மின்னூட்ட அழிவின்மை

ஒரு தனி அமைப்பிலுள்ள மின்னூட்டங்களின் குறியியல் (algebraic) கூட்டுத்தொகை எப்போதும் ஒரே அளவாய் இருக்க வேண்டும்.

எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் புரோட்டான்களும் ஒரே அளவு மின்னூட்டத்தைப் பெற்றிருப்பினும் எலெக்ட்ரான்களின் மின்னூட்டம் எதிர்க்குறியுடையதாகும். இந்த அளவு மின்னூட்டம் e எனப்படுகிறது. இது ஒரு பொருளோ அல்லது ஒரு துகளோ பெற்றிருக்கக் கூடிய மிகச்சிறிய அளவு மின்னூட்டமாகும். மின்னூட்டமானது வரையறுக்கப்பட்ட அளவுகளையே பெற்றிருக்க முடியும்; அதாவது, e என்பது எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டமெனில் ஒரு பொருள் O, $\mp e, \mp 2e, \pm 3e$ போன்ற மதிப்புக்களையே பெற்றிருக்க முடியும். உண்மையில் குவாண்டம் கொள்கையின்படி ஆற்றல், உந்தம், கோண உந்தம் போன்ற மற்ற பௌதிக ராசிகள் வரையறுக்கப்பட்ட மதிப்பையுடையன. மின்சாரத்தைப் பற்றிய இப் பிரிவின் எஞ்சிய பகுதியில் ஆற்றல், உந்தம், கோண உந்தம் ஆகியவை தொடர்ந்து மாறக்கூடிய எந்த மதிப்பையும் பெற்றிருக்கலாம் என்ற கருத்தையே மேற்கொள்வோம். இத்தகைய கருத்து முது மின்விசையியல் (classical electrodynamics) எனப் பெறுகிறது; பேரளவுப் பொருட்களுக்கிடையேயான மின்சாரச் செயலெதிர்ச் செயல்களை (electrical interactions)ப் பற்றியக் கணக்கீடுகளுக்கு இக் கருத்து போதுமானதாகும். நுண் பொருட்களுக் கிடையேயான மின்சாரச் செயலெதிர்ச் செயல் களைப் பொறுத்தவரை குவாண்டம் கொள்கை இன்றியமையாதது ஆகும்.

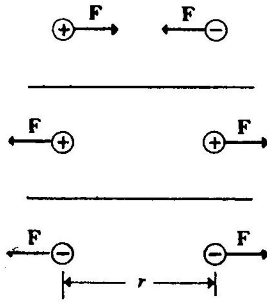
7-3 கூலம் விதி

'புதுமை' விசை

ஈர்ப்பு விசையைப் போன்று இரு மின்னூட்டங்களுக்கு இடையேயுள்ள நிலைமின் விசையும் அவற்றின் பெருக்கற் பலனுக்கு நேர் விகிதத்திலும் அவற்றிற் கிடையே உள்ள தொலைவின் இரு மடிக்கு எதிர் விகிதத்திலும் உள்ளது என நுட்பமிக்க சோதனைகள் நிறுவுகின்றன. நிலைமின் விசையின் இத்தகைய செயற்பாங்கு (behaviour) கூலம் விதி (coulomb's law) என அழைக்கப்

பெறுகிறது. இவ் விதியின்படி Q_1, Q_2 என்ற இரு நிலையான, புள்ளியளவு மின்னூட்டங்களுக்கு இடையேயுள்ள விசையானது

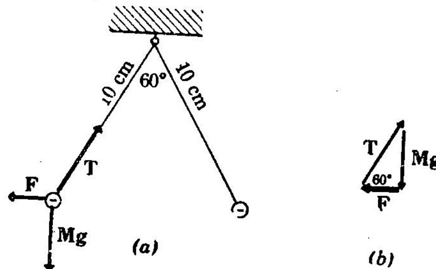
$$F = K\frac{Q_1 Q_2}{r^2}; \qquad (7.1)$$



படம் 7-2
நிலைமின் விசையின் திசையானது இரு மின்னூட்டங்களின் குறிகளைச் சார்ந்திருத்தல்.

r என்பது இரு மின்னூட்டங்களுக் கிடையேயான தொலைவு, K என்பது மின்னூட்டத்தின் அலகைப் பொறுத்த நேர்க்குறியுடைய விகித மாறிலி. Q_1-ம் Q_2-ம் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்க்குறியுடையனவாயிருப்பின் அவற்றின் பெருக்கற் பலன் எதிர்க்குறியுடையதாயமையும். எனவே, F, rக்கு எதிர்த் திசையில் செயற்படும்; அதாவது F ஈர்ப்பு விசையாகும். F-ன் திசைக்கும் மின்னூட்டங்களின் குறிகளுக்கு மிடையேயுள்ள தொடர்பைப் படம் 7-2-ல் காணலாம். இரு மின்னூட்டங்களும் ஒத்த குறியுடையனவாகவோ அல்லது மாறுபட்ட குறிகளை உடையனவாகவோ இருபதற்கேற்ப நிலைமின் விசையானது ஒதுக்கு விசையாகவோ அல்லது ஈர்ப்பு விசையாகவோ இருக்லாம்.

CGS முறையில் r, F ஆகியவற்றிற்கான அலகுகள் முறையே சென்டிமீட்டர், டைன் ஆகும். எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தை Q-க்கான அலகாகப் பயன்படுத்துவோமாயின் சோதனை மூலம் காணப்பட்ட K-ன் மதிப்பு $2{\cdot}3\times10^{-19}$ ஆகும். இது ஒரு வசதியான மதிப்பு அன்று. ஓரலகு மின்னூட்டத்தை நம் விருப்பப்படி வரையறுக்கலாமாதலால் $K = 1$ என்னும் வகையில் அதனை வரையறுப்பது பயனுள்ளதாகும். CGS முறையில்



படம் 7-3
மாதிரிக் கணக்கு 2-ல் உள்ள மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட இருகோளங்கள்.

இதனையே நாம் செய்கிறோம். சமன் 7.1-ல் $K = 1$ என்னுமாறு CGS முறையில் ஓரலகு மின்னூட்டம் வரையறுக்கப் படுகிறது. இந்த ஓரலகு மின்னூட்டம் ஸ்டேட் கூலம் (stat coulomb) எனப் பெறுகிறது. ஒரு ஸ்டேட் கூலமை ஒரு *esu* (electro static unit) மின்னூட்டம் எனக் குறிப்பிடுவது வழக்கம். குழப்பத்தைத் தவிர்ப்பதற்காகவும் பௌதிகத்தை எளிதாக்கு வதற்காகவும் இந் நூல் முழுவதும் ஸ்டேட் கூலமே மின்னூட்டத்தின் படித்தர அலகாகப் பயன் படுத்தப்படும். எனவே, Q ஸ்டேட் கூலம்களில் அளவிடப்பட்டால் **கூலம் விதியை**

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \tag{7-2}$$

எனக் கூறலாம். ஓரலகு மின்னூட்டம் (ஸ்டேட் கூலம்) பின் வருமாறு வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு **மின்னூட்டம் அதிலிருந்து 1 செ. மீ தொலைவில் வைக்கப்பட்ட அதே மதிப்புடையதும் குறியுடையதுமான மற்றொரு மின்னூட்டத்தை 1 டைன் விசையுடன் ஒதுக்குமாயின் அது ஓரலகு மின்னூட்டம் எனப்படும்.** இவ் வகை அலகுகளில் எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டமானது

$$e = 4.8 \times 10^{-10} \text{ ஸ்டேட் கூலம்கள்.} \tag{7-3}$$

மாதிரிக் கணக்கு 1

ஒரு சிறிய கார்பன் கோளத்தின் நிறை 1 கிராம். கோளத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் எத்தனை?

கார்பனுக்கு $Z = 6$; அதன் அணு எடை 12. எனவே 12 கிராம் கார்பன் ஒரு மோல் கார்பன் ஆகும். அதில் 6.02×10^{23} அணுக்களும் அல்லது அதைப்போல் 6 மடங்கு எலெக்ட்ரான்களும் உள்ளன. எனவே 1 கிராம் கார்பனில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் $1/12\ (6 \times 6.02 \times 10^{23}) = 3.01 \times 10^{23}$ ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 2

படம் 7-3-ல் மேற்கூறப்பட்டவாறான இருகோளங்கள் சம அளவு எதிர்மின்னூட்டங்கள் கொடுக்கப்பட்டு 10 செ.மீ நீளமுள்ள இழைகளால் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. கயிறுகளுக்கிடையேயுள்ள கோணம் $60°$ எனில் (*a*) இருகோளங்களுக்கிடையேயுள்ள நிலைமின் விசை என்ன? (*b*) ஒவ்வொரு கோளத்திலும் எத்தனை எலெக்ட்ரான்கள் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன? (c) இருகோளங்களுக்கிடையே ஈர்ப்பு விசை என்ன?

படம் 7.3*b*-ல் நிலைமின்விசை **F**, கயிற்றின் இழுவிசை **T**, கீழ் நோக்கிய ஈர்ப்புவிசை 980 டைன்கள் ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகை சுழியாகும். $30°$-$60°$ செங்கோண முக்கோண

மொன்றின் சிறு புயத்திற்கும் பெரும்புயத்திற்கும் உள்ள தகவு $1/\sqrt{3}$ ஆதலால் $F/980 = 1/\sqrt{3}$ அல்லது $F = 565$ டைன்கள் ஆகும்.

b பகுதிக்கான விடையைக் காண ஒவ்வொரு கோளத்திற்கும் எவ்வளவு மின்னூட்டம் கொடுக்கப்பட்டதெனக் கணக்கிட வேண்டும். இதனை $F = Q^2/r^2$ அல்லது $\sqrt{Fr^2}$ என்னும் கூலம் விதியைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிடலாம். $F = 565$ டைன்கள் $r = 10$ செ.மீ எனப் பதிலீடு செய்வோமாயின் $Q = \sqrt{565 \times 10^2} = 238$ ஸ்டேட் கூலம்கள் ஆகும். இம் மதிப்பை 4.8×10^{-10} ஆல் வகுக்கக் கிடைப்பது, அதாவது $4{\cdot}95 \times 10^{11}$, சேர்க்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையாகும்.

நியூட்டனின் ஈர்ப்பியல் விதிப்படி இருகோளங்களுக்கிடையே யான ஈர்ப்பியல் விசை

$$F = G\frac{M^2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-8} \times \frac{1^2}{10^2} = 6.67 \times 10^{-6} \text{ டைன்கள்}$$

மாதிரிக் கணக்கு 3

அணு அமைப்பைப்பற்றிய போஹ்ர் கொள்கையின்படி ஒரு ஹைடிரஜன் அணுவில் ஒரு புரோட்டானும் அதனை வலம் வரும் ஒரு எலெக்ட்ரானும் உள்ளன. அந்த போஹ்ர் எலெக்ட்ரான் பாதையின் ஆரம் 0.53×10^{-8} செ.மீ. (a) புரோட்டானுக்கும் எலெக்ட்ரானுக்கும் இடையேயான விசை என்ன ? (b) எலெக்ட்ரானின் திசைவேகம் என்ன ?

கூலம் விதிப்படி விசை

$$F = \frac{e^2}{r^2} = \frac{(4.8 \times 10^{-10})^2}{(0.53 \times 10^{-8})^2} = 8.2 \times 10^{-3} \text{ டைன்கள்.}$$

இவ் விசை எலெக்ட்ரானை அதன் பாதையில் இயக்கும் மைய நோக்கு விசையாதலால்

$$m\frac{v^2}{r} = F$$

ஆகும்; m என்பது எலெக்ட்ரானின் நிறை $= 9.1 \times 10^{-28}$ கிராம்.

$$v = \sqrt{\frac{rF}{m}} = \sqrt{\frac{0.53 \times 10^{-8} \times 8.2 \times 10^{-3}}{9.1 \times 10^{-28}}}$$

$$v = 2.18 \times 10^8 \text{ செ.மீ/வி}$$

அடுத்து வரும் இரு இயல்களில் வழக்கில் அதிகமாகப் பயன் படும் கூலம் என்னும் மின்னூட்ட அலகு ஒன்றைப்பற்றிக் காண் போம். அடுத்த இயலில் கூறப்படும் சில முக்கிய காரணங்களால்

கூலமுக்கும் ஸ்டேட் கூலமுக்கும் ஒளிவேகத்தின் அடிப்படையாகக் கொண்ட ஒரு தொடர்பு உண்டு. அதாவது $C = 3 \times 10^{10}$ செ·மீ/வி என்பது ஒளிவேகமாயின்

$$1 \text{ கூலம்} = \frac{c}{10} \text{ ஸ்டேட் கூலம்கள்.}$$

உண்மையில், இப்போது பலவகைப்பட்ட மின்சார அலகுகள் வழக்கில் உள்ளன. அவற்றுள் ஒன்று, சில குறிப்பிட்ட பொறியியற்பகுதிகளிலும் சில பௌதிக நூல்களிலும் பயன்படுத்தப்படும் திருந்திய (rationalised) MKS முறை என்பதாகும். இம் முறையில் F, நியூட்டன்களிலும் r, மீட்டர்களிலும் Q, கூலங்களிலும் அளவிடப்படுகின்றன. எனவே $c = 3 \times 10^8$ மீ/வி எனில் $K = c^2/10^7$ ஆகும். எனினும் இம்முறையில் $\varepsilon_0 = 10^7/4\pi c^2$ என்னும் வகையில் K-க்குப் பதிலாக $1/4\pi\varepsilon_0$ பயன்படுத்தப்படுகிறது. MKS முறையில் கூலம் விதியை

$$F = \frac{1}{\varepsilon_0} \quad \frac{Q_1 Q_2}{4\pi r^2} \text{ நியூட்டன்கள்}$$

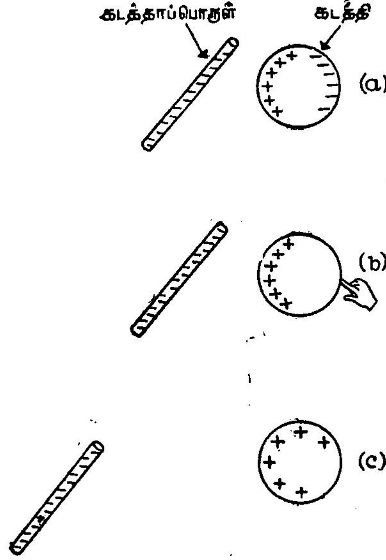
எனக் கூறலாம். $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ கூலம்^{2} வி^{2}/கி கி.மீ^{2}. இந் நூலைப் பொறுத்தவரை அத்தகைய சிக்கல்களைப் பற்றி வருந்த வேண்டாம்.

7-4 நிலை மின் தூண்டல் (Electrostatic induction)

அளவிலா மின்னூட்ட 'உற்பத்தி'

ஒரு கண்ணாடி அல்லது பிளாஸ்டிக் தண்டை மின்னூட்டுவிப்பதற்கான மிக எளிய முறை யாதெனில் அத்தண்டினை ஒரு துணியினால் தேய்ப்பதாகும். பின்னர் தக்கைப்பந்து போன்ற சில பொருட்களை அத் தண்டினால் தொடுவதன் மூலம் அதிலுள்ள மின்னூட்டத்தில் சிறிதளவை அவற்றிக்குக் கொடுக்கமுடியும். எனினும் மின்தூண்டலைப் பயன்படுத்தித் தண்டிலுள்ள மின்னூட்டத்தை இழக்காமலேயே பல கடத்திகளை மீண்டும் மீண்டும் மின்னூட்டுவிக்கலாம். ஒரு கடத்திக்குத் தனிச் சிறப்பு ஒன்று உண்டு. அதாவது அதிலுள்ள அணுக்களின் புற எலெக்ட்ரான்கள் அவற்றிற்குரிய அணுக்களுடன் கட்டுண்டு இராது அக் கடத்தியிலோ அல்லது அதனுடன் இணைக்கப்பட்ட மற்றொரு கடத்தியிலோ தடையின்றி இயங்கக் கூடியனவாயுள்ளன. எனவே, படம் 7-4a-ல் காட்டியுள்ளவாறு எதிர் மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட ஒரு தண்டினை கோளகக் கடத்தி ஒன்றினருகில் கொண்டு செல்லும் பொழுது அதிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் மறுபக்கத்திற்கு விரட்டப்படுகின்றன. கோளம் கையினால் தொடப்படின் (மனித உடல் ஒரு கடத்தியாகும்) அந்த எலெக்ட்ரான்கள் மேலும் விரட்டப்பட்டு கடத்தியை விட்டு வெளி

யேறுகின்றன. கோளத்தினின்றும் கையை எடுத்துவிட்டால் அதில் ஒரு நிகர நேர் மின்னூட்டம் இருக்கும். இவ் வகையில் தண்டி லுள்ள மின்னூட்டத்தைச் சிறிதும் இழக்காமல் எத்தனை கோளங் களை வேண்டுமானாலும் மின்னூட்டுவிக்கலாம்.

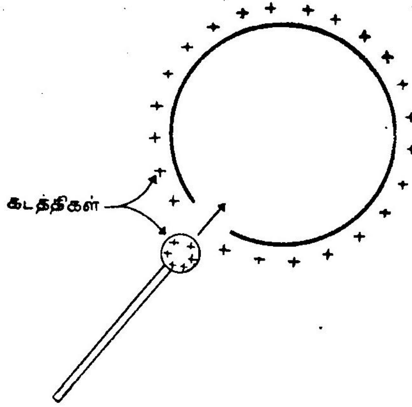


படம் 7-4

கோளகக் கடத்தி ஒன்றை மின்தூண்டல் முறையில் மின்னூட்டு வித்தல்

உண்மையில், மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட இத் தண்டைக் கொண்டு உள்ளீடற்ற பெரியகோளம் ஒன்றின் உதவியால் பல மில்லியன்கள் வோல்ட் அளவிலான மின்னழுத்தத்தை (potential) விளைவிக்க முடியும். (மின்னழுத்தத்திற்கான வரையறையை 7–9ஆம் பிரிவில் காணலாம்). மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட கடத்தி ஒன்றிலுள்ள முழு மின்னூட்டமும் அதன் வெளிப்பரப்பிலேயே இருக்க வேண்டுமென அடுத்த பிரிவில் கூறப்பட்டுள்ளது. படம் 7.4-ல் உள்ள மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட சிறிய கோளத்தைப் படம் 7-5-ல் உள்ள பெரிய கோளத்தினுள் ஒரு சிறிய துளையின் வழியே விட்டு அதன் உட்புறத்தில் தொடுவதாகக் கொள்வோம். உடனே பெரிய கோளத்தின் புறப்பரப்பிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் யாவும் சிறிய கோளத்திற்கு விரைந்து அதன் மின்னூட்டத்தை நீக்கும். இப்பொழுது பெரிய கோளத்தின் புறப்பரப்பு சிறியகோளத்தில் இருந்த நேர் மின்னூட்டத்தைப் பெற்றிருக்கும். இச் சோதனை

யைப் பலமுறை செய்தால் பெரிய கோளத்தின் புறப்பரப்பிலுள்ள மொத்த மின்னூட்டமானது சோதனை எத்தனைமுறை செய்யப்



படம் 7-5

பெரிய கோளம் ஒன்றின் உட்பரப்பைத் தொடுவதன் மூலம் அதனை மின்னூட்டுவித்தல் வான் டி கிராஃபின் தத்துவம்,

பட்டதோ அத்தனை மடங்கு சிறிய கோளத்தில் உள்ள மின்னூட்டத்திற்குச் சமமாகும். இதுவே தற்காலத்தில் பல மில்லியன் வோல்ட் மின்னழுத்தத்தைப் பெற பயன்படுத்தப்படும் வான் டி கிராஃப் மின்னூக்கி(Van de Graff generator) களின் தத்துவமாகும். மின்னூக்கியில் பெரிய கோளத்தினுள் படிப்படியாக மனிதன் தன் கையினால் மின்னூட்டத்தை எடுத்துச் செல்வதற்குப் பதில் தொடர்ச்சியான பட்டை ஒன்று மின்னூட்டத்தை எடுத்துச் செல்கிறது.

7-5 மின்புலம்

எங்கும் நிலவும் விசை

மின்புலங்களும் காந்தப்புலங்களும் கணக்கீடுகளை எளிதாக்கி பௌதிகத்தை அறிவதற்கு எளிதாக்கக்கூடிய கணிதவியல் வரையறைகளாகும். வெளியிடத்தில் ஒரு புள்ளியில் மின்புலம் என்பது அப் புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட சிறிய ஆய்வு மின்னூட்டம் (test charge) q-ன்மீது செயற்படும் விசையை q-ஆல் வகுக்கக் கிடைப்பதாகும். மின்னூட்டம் q-ன்மீது செயற்படும் மின்விசை **F** எனில் மின்புலம்

$$E = \frac{F}{q} \qquad (7\text{-}4)$$

E-ன் அலகுகள் டைன்கள்/ஸ்டேட்கூலம்ஆகும். எனவே ஒரு

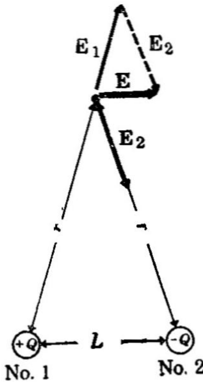
புள்ளியில் மின்னூட்டம் என்பது அப் புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட 1 esu நேர் மின்னூட்டம் உணரும் விசையின் எண் மதிப்புக்குச் சமமாகும். மின்புலம் என்பது-விசையை அளவிடக்கூடிய ஆய்வு மின்னூட்டம் ஒன்று இருக்குமானல்-வெளியிடத்தில் எந்தப் புள்ளியிலும் ஓரலகு மின்னூட்டம் உணரக்கூடிய விசையாகும்.

இப்பொழுது Q என்ற புள்ளியளவு மின்னூட்டம் ஒன்றினல் விளையக்கூடிய மின்புலம் E-ஐ மதிப்பிடுவோம். கூலம் விதிப்படி Q-லிருந்து r தொலைவில் வைக்கப்பட்ட ஆய்வு மின்னூட்டம் q-ன் மீது செயற்படும் விசை $F = q\ (Q/r^2)$. எனவே Q என்ற புள்ளியளவு மின்னூட்டத்திலிருந்து rதொலைவில் மின்புலம்

$$E = \frac{Q}{r^2} \qquad (7\text{-}5)$$

பல பௌதிகச் சூழல்களில் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட புள்ளியளவு மின்னூட்டங்களோ அல்லது சீராகப் பரவியுள்ள மின்னூட்டமோ இருக்கும். அவ்வாறுயின் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் மின்புலம் E-ஆனது ஒவ்வொரு மின்னூட்டத்திஞலும் விளையும் மின்புலங்களின் வெக்டர் கூட்டுத் தொகையாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு



படம் 7-6

மின்னிரு துருவம் ஒன்றினல் விளையும் மின்புலம்.

படம் 7-6-ல் காட்டியவாறு ஒன்றுக்கொன்று L தொலைவிலுள்ள Q என்ற இரு சமமான எதிர் மின்னூட்டங்கள் மின் இரு துருவம் (electric dipole) என வரையறுக்கப் படுகிறது. அத்தகைய மின்னிரு துருவம் ஒன்றின் ஒவ்வொரு மின்னூட்டத்தினின்றும் சமதொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் மின்புலம் E-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடுக. அப்புள்ளியிலிருந்து ஒவ்வொரு மின்னூட்டமும் r தொலைவில் உள்ளன.

மின்னூட்டம் 1ஆல் விளையும் மின்புலம் E_1 எனில்

$$E_1 = \frac{Q}{r^2}$$

வடிவொத்த முக்கோணங்களின்படி $E/E_1 = L/r$. எனவே,

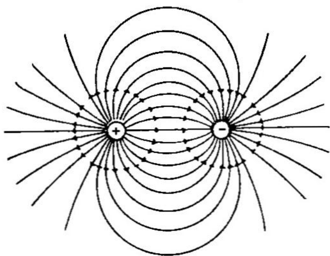
$E = L/r\ E_1$ அல்லது $E = LQ/r^3$

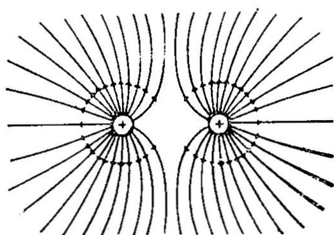
இக் கணக்கிலிருந்து மின்னிரு துருவம் ஒன்றினல் விளையும் விசையானது வழக்கமான எதிர்விகித இருமடி விதியாலன்றி எதிர்விகித மும்மடி விதியால் பெறப்படுவதை அறியலாம்.

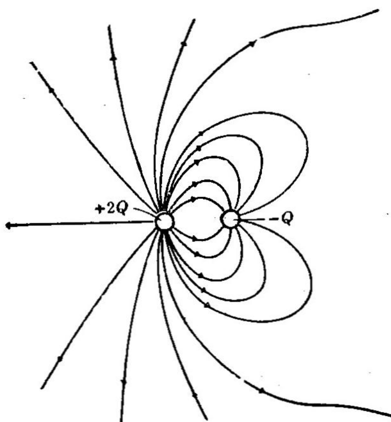
7-6 விசைக் கோடுகள்

எளியோன் நுண் கணிதம்

வெளியிடத்தில் E-ன் திசையைப் படம் 7-7-ல் காட்டியவாறு தொடர் கோடுகளால் குறிப்பிடலாம். **E**-ன் இக்கோடுகள் விசைக் கோடுகள் என அழைக்கப்படுகின்றன. விசைக் கோடுகளை அளவு







படம் 7-7.

(*a*) சமமான மாற்றியல்புடை இரு மின்னூட்டங்களுக்கான விசைக் கோடுகளின் படம். (*b*) ஒத்தியல் புடைய இரு மின்னூட்டகளுக்கான விசைக்கோடுகளின் படம். (*c*)-Q, $+2Q$ ஆகிய இருமின்னூட்டங் களுக்கான விசைக் கோடுகளின் படம்.

சார்ந்த முறையில் திறன்மிக்க போற்றத்தக்க ஒரு கணிதவியல் கருவியாகப் பயன்படுத்தலாம். காட்டாக, புவியின் நிறை முழுதும் அதன் மையத்தில் ஒருமுகப்பட்டிருப்பது போல் செயற்

படுகிறது என மிக எளிதில் நிறுவலாம். இதனை நிறுவமுடியாமலேயே நியூட்டன் தனது ஈர்ப்பியல் விதியைப் பல ஆண்டுகள் வெளியிடாமல் இருக்க நேர்ந்தது என 3ஆம் இயலில் கூறப்பட்டது நினைவுருக்கலாம். இனி, விசைக் கோடுகளின் உதவியால் பின்வருவனவற்றைச் சரிபார்ப்போம்:

1. சீராக மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட கோளம் ஒன்றின் வெளிப்புறத்தில் மின்புலம் $E = Q/r^2$

2. சீராக மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட கோளக அல்லது உருளை வடிவக் கூட்டின் உட்புறத்தில் மீன்புலம் சுழியாகும்.

3. ஒரு கடத்தி ஒன்றினுட்புறத்தில் எப்புள்ளியிலும் மின்புலம் சுழியாகும்.

4. விஞ்சிய (excess) மின்னூட்டங்கள் கடத்தியின் வெளிப்புறத்திலேயே அமையும்.

5. ρ ஸ்டேட் கூலம்/செமீ அளவு மின்னூட்டம் பெற்ற உருளை அல்லது கோட்டிற்கு வெளியே மின்புலம் $E = 2\rho/r$ ஆகும்.

6. σ ஸ்டேட் கூலம்/செ.மீ² அளவு மின்னூட்டம் பெற்ற தளம் விளைவிக்கும் மின்புலம் $E = 2\pi\sigma$.

7. A பரப்பரளவும்—Q, $+Q$ ஆகிய மின்னூட்டங்களையும் கொண்ட இரு மின்தேக்கித் தகடுகளுக்கிடையே மின்புலம் $E = 4\pi(Q/A)$.

விசைக் கோடுகள் ஒரு அளவு சார்ந்த கருவியாதலால் படம் 7-8-ல் காட்டியுள்ளவாறு ஒவ்வொரு சதுர சென்டிமீட்டர் வழியாகவும் செல்லக்கூடிய கோடுகளின் எண்ணிக்கை E-ன் மதிப்புக்குச் சமமாகும். A-சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பின் வழியே செல்லக்கூடிய விசைக்கோடுகள் N எனவும் E, A-க்கு நேர்குத்தாக உள்ளது எனவும் கொள்வோமாயின்.

$$E = \frac{N}{A}$$

அல்லது $N = E \cdot A$ (7-6)

E, A-க்கு நேர்குத்தாக இல்லாவிடில் E-ன் A-க்கு நேர்குத்தான ஆக்கக்கூறு E_1 எனில் $N = E_1 \cdot A$

இனி, Q என்ற புள்ளியளவு மின்னூட்டம் ஒன்றிலிருந்து R தொலைவில் உள்ள விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கையை மதிப்பிடுவோம். இத்தொலைவில் மொத்த பரப்பளவு $A = 4\pi R^2$. சமன் 7-6-ன் படி

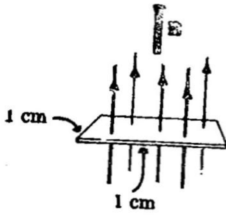
$$N = E \cdot (4\pi R^2)$$

$$N = \frac{Q}{R^2} \cdot 4\pi R^2$$

எனவே, புள்ளியளவு மின்னூட்டம் Q-லிருந்து செல்லக் கூடிய விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை

$$N = 4\pi Q \qquad (7\text{-}7)$$

விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை R-ன் மதிப்பைச் சார்ந்திராததைக் காணலாம். எனவே, Q-ஐ விட்டுச் செல்லும் கோடுகள் வெளியிடத்தில் ஆரவகையில் முடிவிலிவரைத் தொடர்ந்து செல்கின்றன. Q எதிர்க்குறி யுடையதாக இருப்பின் கோடுகளின் திசை எதிர்மாறாக இருக்கும்; அதாவது கோடுகள் முடிவிலாத் தொலைவில் தொடங்கி Q-ல் முடிவடையும்.



படம் 7-8

மேல் நோக்கும் $E = 5$ டைன்ஸ்/ஸ்டேட் கூலம் மின் புலத்திற்குரிய விசை கோடுகள். ஒவ்வொரு சதுர சென்டி மீட்டர் வழியாகவும் 5 கோடுகள் செல்ல வேண்டும்.

படம் 7-7-லும் இந்த இயல் தொடக்கத்திலும் உள்ளவாறு இரண்டோ அல்லது இரண்டுக்கு மேற்பட்ட மின்னூட்டங்களோ இருப்பினும் விசைக்கோடுகள் முடி வின்றி செல்லுமா? இவ்வினாவிற்கு ஆம் என்ற விடையைப் பெறமுடியுமாயினும் அதனைச் சமன் 7-6-ஐப் பயன்படுத்தி நிறுவவேண்டும். இங்கு, அதனை இரு புள்ளியளவு மின்னூட்டங்களைப் பொறுத்தவரை நிறுவுவோம். எவ்வகையிலும் பரவியுள்ள எத்தனை புள்ளியளவு மின்னூட்டங்கள் இருப்பினும் அந்த நிருபணம் பொருந்தும். இரு மின்னூட்டங்களின் தொகுபயன் மின்புலம்

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$$

மேலும் E-ன் x ஆக்கக்கூறு

$$E_x = (E_1)_x + (E_2)_x \qquad (7\text{-}8)$$

ஏதேனும் ஒரு சிறு பரப்பு A-ஐயும் அதற்கு நேர்குத்தாக இருக்கும் வகையில் x அச்சையும் கருதுக. A வழியே செல்லக்கூடிய E-ன் விசைக்கோடுகள் N எனவும் E_1, E_2 ஆகியவற்றின் விசைக் கோடுகள் முறையே N_1, N_2 எனவும் கொள்வோம். இனி,

$$N_1 = (E_1)_x \cdot A,\; N_2 = (E_2)_x \cdot A,\; N = E_x \cdot A \qquad (7\text{-}9)$$

சமன் 7-8-ஐ A-ஆல் பெருக்கினால்

$$E_x \cdot A = (E_1)_x \cdot A + (E_2)_x \cdot A$$

இச் சமன்பாட்டில் சமன்கள் 7-9-ஐப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

நாம் எதிர்பார்த்த முடிவைப் பெறுகிறோம். அதாவது

$$N = N_1 + N_2$$

N_1, N_2 ஆகியவை ஒவ்வொன்றும் முடிவிலாக் கோடுகளாதலால் அவற்றின் கூட்டுத்தொகையும் முடிவிலாக் கோடுகளாகவும். எனவே, விசைக்கோடுகள் மின்னூட்டங்களில் அன்றி திடீரெனத் தொடங்கவோ, முடியவோ முடியாது என நிறுவியுள்ளோம். மேலும் Q_1, Q_2 ஆகிய இரு மின்னூட்டங்களையும் கொண்ட ஒரு பரப்பின் வழியே செல்லக்கூடிய விசைக்கோடுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை $4\pi\ (Q_1+Q_2)$ ஆகும்.

சுருங்கக்கூறின் மின்னூட்டங்கள் எவ்வடிவிலிருப்பினும், எவ் வகையில் பரவி இருப்பினும் அவற்றிற்கான விசைக்கோடுகள் பின் வரும் விதிகளுக்கு உட்பட வேண்டும்.

1. Q மின்னூட்டமுடைய பொருளிலிருந்து செல்லும் கோடுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை $4\pi Q$ ஆகும்.

2. விசைக் கோடுகள் முடிவற்றவை. அவை மின்னூட்டங் களில் அன்றி வேறு எப்புள்ளியினின்றும் தொடங்கவோ முடியவோ செய்யா.

3. விசைக்கோடுகள் ஒன்றை ஒன்று குறுக்கிடா. அவ்வாறு ஒரு புள்ளியில் குறுக்கிடுமாயின் அப்புள்ளியில் E இரு வேறு திசைகளைப் பெற்றிருக்கும்.

மேற்கூறப்பட்ட விதிமுறைப் பண்புகள் கூலம் விதிக்குக் கணித முறையில் சரிநிகராகும். இப்புதிய விதிமுறைப் பண்பையும் சீரமைவுத் தத்துவங்களையும் பயன்படுத்திப் பக்கம் 191-ல் கூறப்பட்டவற்றை நாம் இப்பொழுது சரிபார்க்கலாம்.

7-7 மின்னூட்டப் பங்கீடுகள்

எண்ணிலா வெக்டர் கூட்டல்களைச் செய்வதற்கான விரைவான தொரு வழி.

பல்வேறு மின்னூட்டப் பொருட்களின் மின்புலங்களின் பண்பைக் காட்டும் விசைக்கோடுகளின் அமைப்பைப் படம் 7-9-ல் காட்டியுள்ளவாறு மின்காப்புத் திரவம் ஒன்றினுள் மிதக்கவிடப் பட்ட புல்விதைகளைக் கொண்டு பெறலாம். மின்புலம் ஒன்று புல்விதையை அதன் வழி நிற்குமாறு அதன் இரு முனைகளிலும் சமமான, மாற்றியல்பு மின்னூட்டங்களைத் தூண்டுகிறது.

மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட கோளத்தினால் விளையும் மின்புலம்

நாம் முதலில் நியூட்டனுக்குப் பெரும் தடையாயமைந்த பிரச்சினையை நோக்குவோம். சீராக மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட, Q என்ற மின்னூட்டத்தைக்கொண்ட ஒரு கோளத்தைக் கருதுவோம். கோளகச் சீரமைவின் பயனாய் கோளத்திலிருந்து செல்லும் விசைக்கோடுகள் எல்லாத் திசைகளிலும் சீரான அடர்த்தியைக் கொண்டு கோளத்தின் மையத்திலிருந்து புறப்படும். சமன் 7-6-ன் படி படம் 7-10-ல்

P என்ற புள்ளியில் மின்புலம் $E = \frac{N_{மொத்தம்}}{A_{மொத்தம்}}$, $= A_{மொத்தம்}\ 4\pi r^2$

என்பது r ஆரமுடைய கோளகப் பரப்பாகும். மேற்கூறப்பட்ட விதிகளுள் முதலாவதன்படி $N_{மொத்தம்} = 4\pi Q$. எனவே $E = 4\pi Q/4\pi r^2$ அல்லது $E = Q/r^2$. சமன் 7-5-ன்படி E-ன் இம்மதிப்பு Q என்ற முழு மின்னூட்டமும் கோளத்தின் மையத்தில் செறிவுற்றிருந்தால் கிடைக்கக்கூடிய மதிப்பாகும். ஈர்ப்பியலைப்பொறுத்தவரை மின்புலத்திற்கு (ஓரலகு மின்னூட்டத்திற்குரிய மின்விசை)ப் பதிலாக ஈர்ப்புப் புலத்தை (ஓரலகு நிறைக்குரிய ஈர்ப்பு விசை)ப் பயன்படுத்துகிறோம். அத்தகைய ஈர்ப்பு விசையும் எதிர் விகித இருமடி விசையே யாதலால் விசைக் கோடுகளுக்கான விதிப் பண்பினை ஈர்ப்புப் புலங்களுக்கும் பயன் படுத்தலாம். படம் 7.9 மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட பல்வேறு கடத்திகளைச் சுற்றியமைந்த விசைக் கோடுகளின் மின்காப்புத் திரவம் ஒன்றில் மிதக்கவிடப்பட்ட புல் விதைகளின் உதவியால் பெறப்பட்ட அமைப்புகள்: (நன்றி: பெரினிஸ் அப்பாட், கல்விக் கழகம்-Berenice Abbot, Educational Services Inc).

(a) அதே அளவு மின்னூட்டங்களைக்கொண்ட இரு தண்டுகள்.

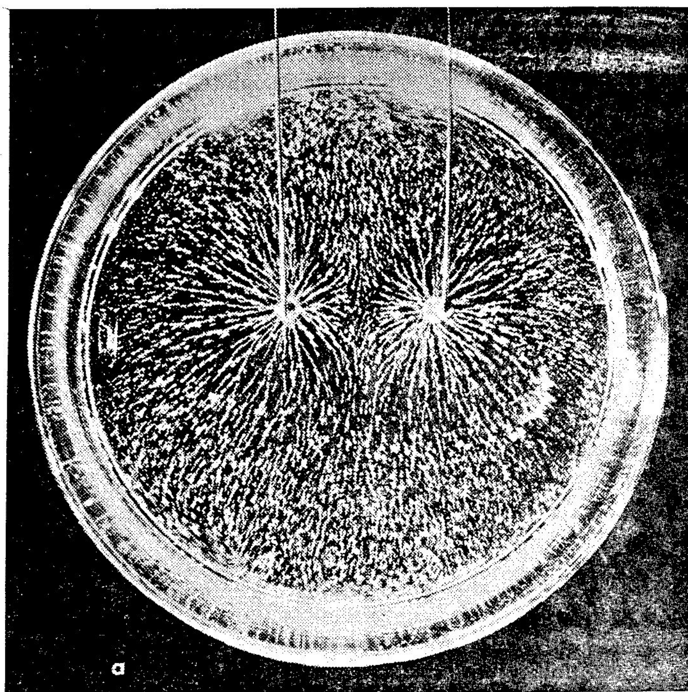
(b) சமமான மாற்றியல்பு மின்னூட்டங்களைக்கொண்ட இரு தண்டுகள்.

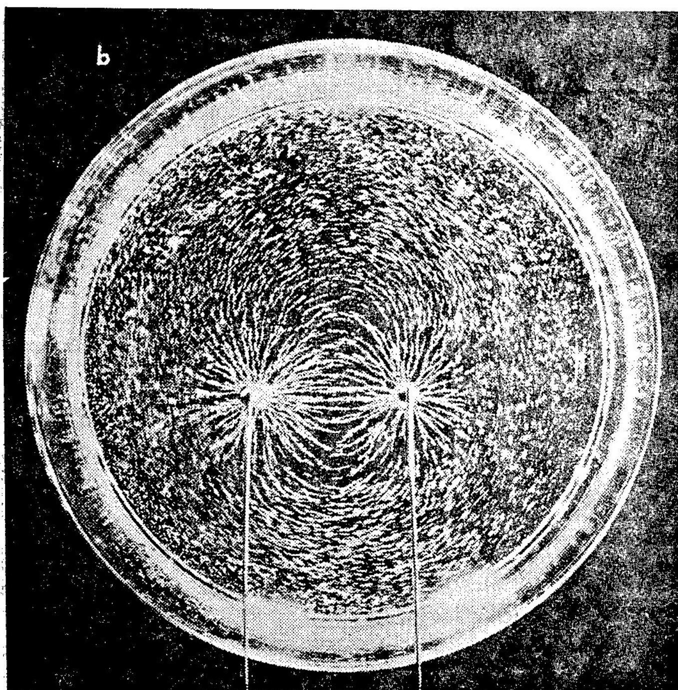
(c) மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட உருளை, உருளையினுள் எங்கும் மின்புலம் சுழியாயிருப்பதைக் காண்க.

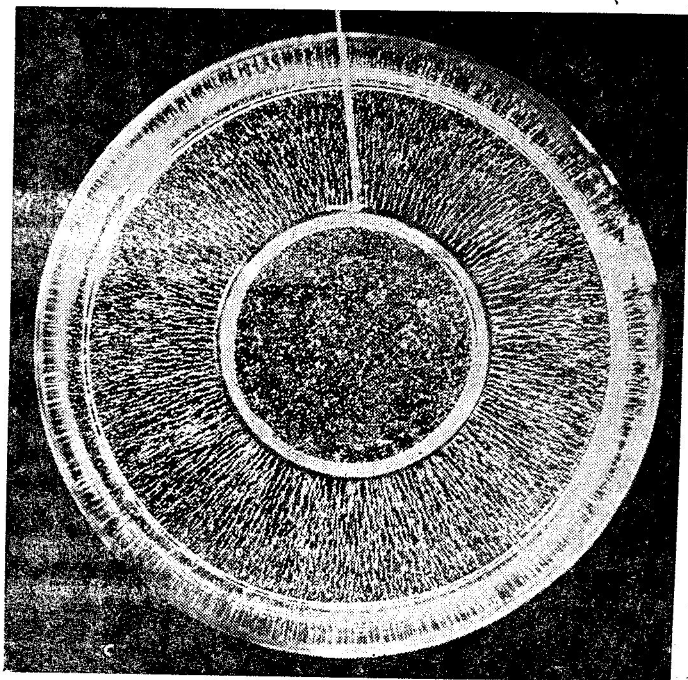
(d) ஏதோ ஒரு வடிவைக்கொண்ட மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட கடத்தி. உட்புறத்தில் மின்புலம் எங்கும் சுழியாயிருப்பதைக் காண்க.

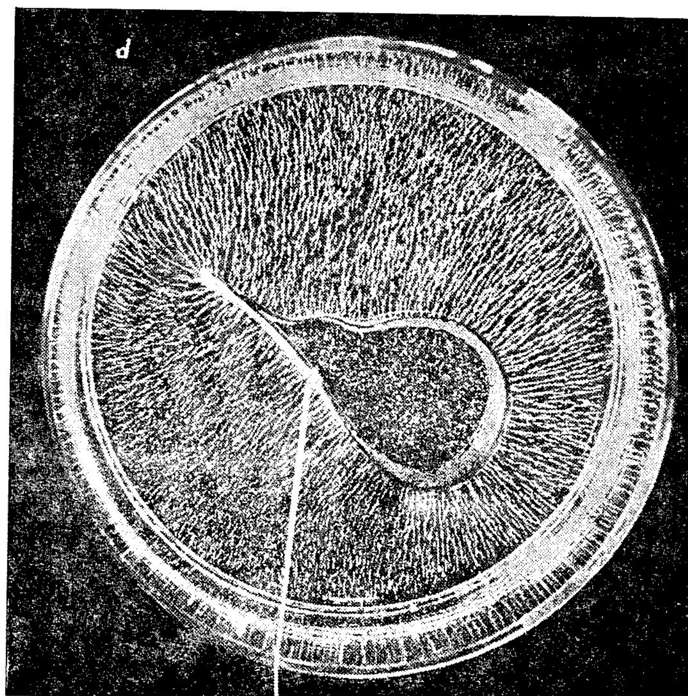
(e) மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட ஒற்றைத் தளம்.

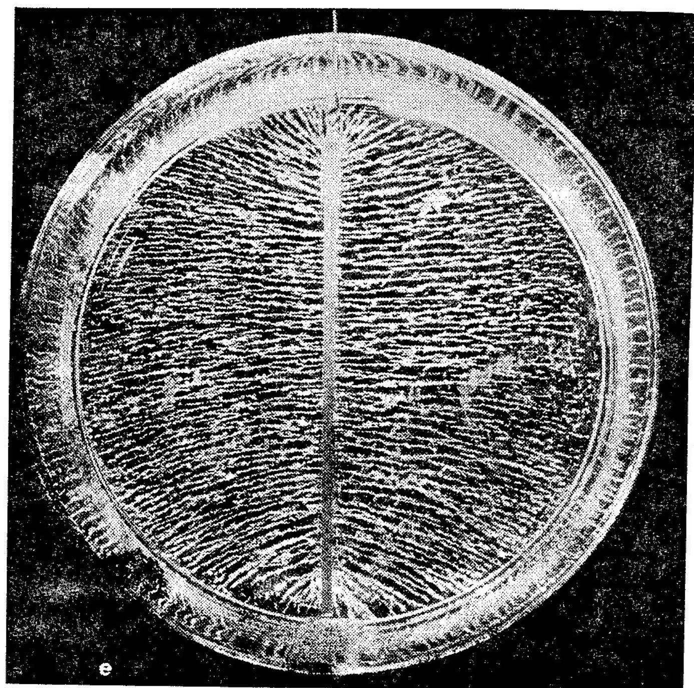
(f) சமமான மாற்றியல்பு மின்னூட்டங்களைக்கொண்ட இரு தகடுகள் ஒரு மின்னேற்பி.

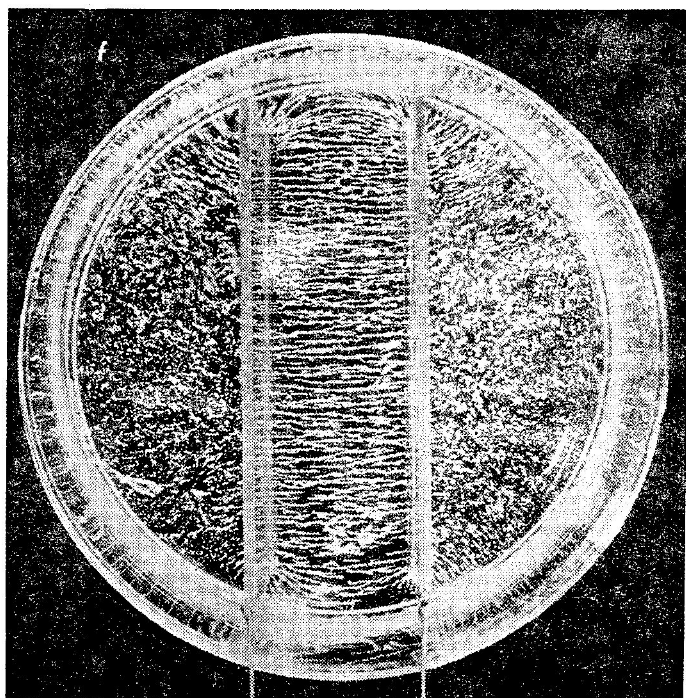

a


b

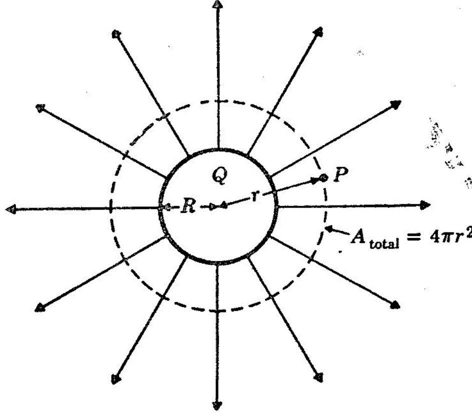

c


d


e


f

படம் 7-10-ல் மின்னூட்டமானது கோளத்தின் முழுப் பருமனிலும் சீராகப் பரவியிராமல் அதன் பரப்பின்மீது மட்டும் செறிவுற்றிருப்பதாகக் கொள்வோம். பின்னர் விசைக்கோடுகள் படம் 7.10-ல் உள்ளவாறு தோன்றும். கோளத்தினுள் விசைக் கோடுகள் ஏதுமிருப்பின் அவை ஒன்றையொன்று குறுக்கிடவோ



படம் 7-10

Q-ன் மினூட்டமும் R ஆரமும் கொண்ட கோளத்திலிருந்து செல்லும் விசைக் கோடுகள்.

அல்லது கோளகச் சீரமைவுக்கு முரண்படவோ (மையத்திலிருந்து விசைக்கோடுகளுக்கான மேம்பட்ட திசை எதுவும் இருக்க முடியாது) செய்யும். எனவே, மேற்பரப்பில் சீரான மின்னூட்டத் தைக் கொண்ட கோளம் அல்லது உருளையின் உட்புறத்தில் மின்புலம் எங்கும் சுழியாகும் என்பதைக் காணலாம்.

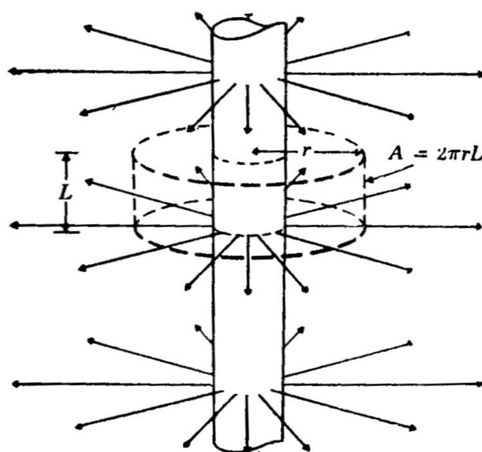
கடத்தி ஒன்றினுள் மின்புலம்

மின்னோட்டமற்ற கடத்தி ஒன்றினுள் E என்ற மின்புல மிருப்பின் என்ன நேரும் என ஆராய்வதன்மூலம் ஒரு கடத்தி யினுள் மின்புலம் இருக்க முடியாது என நிறுவலாம். கடத்தி யினுள் மின்புலமிருப்பின் அதனுள் உள்ள கட்டற்ற எலெக்ட் ரான்கள் ஒவ்வொன்றும்—eE என்ற விசைக்குட்பட்டு இயங்கும். ஆனல் இயங்கும் எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு மின்னோட்டத்தை அமைக்கும். (நிலைமின்னியல் என்பது நிலையான மின்னோட்டங் களைப் பற்றியது). இது கடத்தியில் மின்னோட்ட மற்ற நிலைக்கு முரண்பட்டதாகும்.

அடுத்து, ஒரு கடத்தியிலுள்ள விஞ்சிய மின்னூட்டம் அதன் புறப்பரப்பிலேயே அமைய வேண்டும் என நிறுவலாம். கடத்தி

யினுள் எங்கேனும் q என்ற விஞ்சிய மின்னூட்டம் இருப்பதாகக் கருதுவோம். இந்த மின்னூட்டத்தினின்றும் $4\pi q$ விசைக் கோடுகள் புறப்படவேண்டுமாதலால் கடத்தியினுள் விசைக் கோடுகள் இருக்கும். இது, நிலையான மின்னூட்டங்களைக் கொண்டுள்ள கடத்தியினுள் விசைக்கோடுகள் இருக்க முடியாது என முன்னர் கூறப்பட்டதற்கு முரணுக உள்ளதால் விஞ்சிய மின்னூட்டம் எதுவும் கடத்தியினுள் இருக்க முடியாது.

சீராக மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட உருளையினுல் விளையும் மின்புலம்



படம் 7-11

சீராக மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட உருளை வடிவப் பரப்பினின்றும் செல்லும் விசைக்கோடுகள்.

படம் 7-11-ல் உருளை அதன் நெடுக்கிலும் ρ ஸ்டேட்கூலம்/செமீ என்ற சீரான மின்னூட்டத்தைக்கொண்டுள்ளது.* மேல் நோக்கிய கீழ் நோக்கிய ஆகிய இருதிசைகளுக்குள் விசைக்கோடுகளுக்கு எதுவும் மேம்பட்ட (preferred) திசையில்லையாதலால் அவை உருளைக்கு நேர்குத்துத் திசையில் ஆரவகையாகச் செல்ல வேண்டும். உருளையின் L செ.மீ. நீளத்தைக் கருதுவோம். உருளையின் இந்த நீளத்தில் PL மின்னூட்டம் இருக்க வேண்டுமாதலால் அந்த நீளம் $N = 4\pi\rho L$ விசைக்கோடுகளை வெளிச் செலுத்த வேண்டும். சமன் 7-6-ன்படி உருளையின் புறத்தே அதன் அச்சினின்றும் r தொலைவில் மின்புலம்

*ρ, σ என்ற குறியீடுகள் முறையே ரோ (rho), சிக்மா (sigma) என்ற கிரேக்க எழுத்துக்களாகும்.

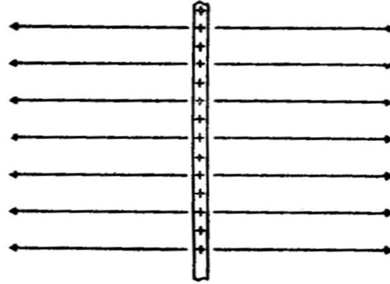
$$E = \frac{N}{A} = \frac{4\pi\rho L}{2\pi r L}$$

$$E = \frac{2\rho}{r} \quad (7\text{-}10)$$

இது ρ ஸ்டேட் கூலம்/செமீ அளவு மின்னூட்டம்கொண்ட கம்பிக்கோ அல்லது கோட்டியல் மின்னூட்டத்திற்கோ (line charge) பொருந்தும்.

மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட தளங்கள்

σ ஸ்டேட் கூலம்/செமீ^{2} அளவு சீராக மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட, படம் 7.12-ல் உள்ள ஒரு தளத்தைக் கருதுவோம். அதன் ஒவ்வொரு சதுர சென்டிமீட்டரிலிருந்தும் செல்லும் விசைக் கோடுகள் $4\pi\sigma$. தளத்திற்கு வலப்பக்க இடப்பக்கத் திசைகளுள் ஒன்றுக்கொன்று மேம்பட்ட திசையில்லையாதலால் தளத்திலிருந்து செல்லும் கதிர்கள் இரு திசைகளிலும் சமமாகப் பிரிந்து செல்லும்.



படம் 7-12.

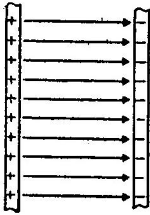
சீராக மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட முடிவற்ற தளம் ஒன்றிலிருந்து விசைக்கோடுகள் (பக்கக் காட்சி).

மின்புலம் என்பது ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் வழியே செல்லும் விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை ஆதலால் வெளியிடத்தில் எங்கும் மின்புலம்

$$E = 2\pi\sigma \quad (7\text{-}11)$$

அடுத்து சம மின்னூட்ட அடர்த்தியுடன் கூடிய மாற்றியல்பு மின் னூட்டங்களைக் கொண்ட இரு இணைத் தளங்களைக் கருதுவோம். படம் (7.13). E என்பது ஒரு வெக்டர் ராசியாதலால் வெளி யிடத்தில் ஒரு புள்ளியில் மின்புலமானது ஒவ்வொரு தளத்தினாலும் விளையும் மின் புலங்களின் வெக்டர் கூட்டுத் தொகையாகும். எனவே, தளங்களுக்குப் புறத்தே மின்புலம்

$$E = 2\pi\sigma + 2\pi(-\sigma) = 0$$



படம் 7-13

சமமான, மாற்றியல்பு மின்னூட்டங்களுடன் கூடிய முடிவற்ற இரு இணைத் தளங்களுக்கிடையேயுள்ள விசைக்கோடுகளின் படம்.

ஆகும். தளங்களுக்கிடையே மின்புலமானது இடது தளத்திலிருந்து விலகிச் செல்லும் $2\pi\sigma$ + வலது தளத்தை நோக்கிச் செல்லும் $2\pi\sigma$ ஆகும். எனவே, வலது தளத்தை நோக்கிய திசையில் நிகர மின்புலம்

$$E = 2\pi\sigma + 2\pi\sigma$$

அல்லது தளங்களுக் கிடையே மின்புலம்

$$E = 4\pi\sigma \qquad (7\text{-}12)$$

பலவகையான மின்சுற்றுக்களில் பயன் படுத்தப்படும் ஒரு மின்கருவி மின்னேற்பி யாகும். அருகருகே d தொலைவில் பொருத் தப்பட்ட, A பரப்பளவு கொண்ட இருதகடு கள் ஒரு மின்னேற்பியை அமைக்கின்றன. ஏறத்தாழ எப்போதும் மின்னேற்பியின் ஒரு தகடு $+Q$ மின்னூட்டத்தையும் மற்றொரு தகடு $-Q$ மின்னூட்டத்தையும் கொண்டிருக்கும். எனவே மின்னூட்ட அடர்த்தி $\sigma = Q/A$ ஆகும். சமன் 7-12-ன்படி ஒரு இணைத் தகடு மின்னேற்பிக்கு

$$E = 4\pi \frac{Q}{A} \qquad (7\text{-}13)$$

உண்மையில் பல மின்னேற்பிகளில் தகடுகளுக்கிடையே ஒரு மின் விளைவாற்றிப் பொருள் (dielectric substance) ஒன்று வைக் கப்பட்டிருக்கும். மின் விளைவாற்றிக்கு ஒரு தனிப் பண்பு உண்டு. அதனை ஒரு மின்புலத்தில் வைக்கும்பொழுது அதன் புறப்பரப்பில் தூண்டப்பட்ட மின்னூட்டங்கள் தோன்றி அதனுள் மின்புலத் தைக் குறைக்கும். இவ்வாறு தூண்டப்படும் மின்னூட்டம் தகடு களுக்குக் கொடுக்கப்பட்ட மின்னூட்டத்தை நோக்க மிகச்சிறிய அளவிலும் மாற்றியல்பு உடையதாகவும் இருக்கும். எனவே, இங்கு சமன் 7-13-ல் உள்ள Q என்ற மின்னூட்டமானது கொடுக்கப்பட்ட மின்னூட்டம், தூண்டப்பட்ட மின்னூட்டம் ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையாகும். வெற்றிடத்தில் மின்புலத்திற்கும் மின் விளைவாற்றியினுள் மின்புலத்திற்கும் உள்ள தகவு மின்விளைவாற்றி மாறிலி (dielectric constant) ε என வரையறுக்கப்படுகிறது.

7-8 மின் நிலையாற்றல் (Electric potential Energy)

வரம்பிலாத் தொலைவுக்கு வரம்புறு வேலை

பலவகை நிலையாற்றல்கள் இருக்கலாம் என 5ஆம் இயலில் கூறப்பட்டது. நிலையாற்றலை தேவைப்படும்போது பயன்படுத்து

வதற்கென சேமித்து வைக்கப்பட்ட ஆற்றலாகக் கருதலாம். ஈர்ப்பு விசையை எதிர்த்து ஒரு நிறையை தூக்குவதன் மூலமோ அல்லது வில்விசையை எதிர்த்து ஒரு வில்லை நீட்டுவதன் மூலமோ ஆற்றலை சேமித்து வைக்க முடியுமாயின் மின் விசையை எதிர்த்து ஒரு மின்னூட்டத்தை நகர்த்துவதன் மூலமும் அதனை சேமித்து வைக்கமுடியும். அவ்வாறு நகர்த்திய மின்னூட்டத்தை விடுவித்தால் அதன்மீது செயற்படும் மின்விசையானது அதனை முடுக்குவித்து அதன்மீது செய்யப்பட்ட அதே அளவு வேலையை திருப்பி அளிக்கும். பக்கம் 122-ல் கூறப்பட்ட நிலையாற்றலுக்கான வரையறையின்படி q என்ற மின்னூட்டமொன்றை A-யிலிருந்து B-க்கு நகர்த்தும்பொழுது அதன் நிலையாற்றல் மிகுதிப்பாடு

$$U_B - U_A = -\bar{F}_x . \triangle x \qquad (7\text{-}14)$$

ஆகும்; $\bar{F}_x$ என்பது நிலைமின் விசையின் சராசரி x ஆக்கக் கூறு; $\triangle x$ என்பது A-லிருந்து B-ன் தொலைவு. நிலைமின் விசைகளால் விளையும் இந்த நிலையாற்றல் மின் நிலையாற்றல் எனப்படுகிறது.

கோளக மின்னூட்டம் புள்ளி ஆகியவற்றின் நிலையாற்றல்

Q மின்னூட்டத்தைக் கொண்ட ஒரு கோளம் ஏற்படுத்தக்கூடிய மின்புலத்தினுல் விளையும் விசை F_x எனக் கொள்வோமாயின் $F = Qq/r^2$ ஆகும். கணிதவியல் அடிப்படையில் நோக்குவோமாயின் இக் கணக்கீடு M நிறையையுடைய ஒரு கோளம் விளைவிக்கக்கூடிய ஈர்ப்புப் புலத்தில் m என்ற நிறையின் நிலையாற்றலை ஒத்திருக்கும். ஈர்ப்பியலைப் பொறுத்தவரை $F_G = -GMm/r^2$. மின்விசையும் ஈர்ப்பு விசையும் எதிர்விகித இருமடி விசைகளாகும். (GMm)-க்குப் பதில் $(-Qq)$-ஐப் பதிலீடு செய்வதன்மூலம் ஒன்றை மற்றென்ருக மாற்ற முடியும். எனவே, சமன் 5-5-ல் (GMm)-க்கு $(-Qq)$-ஐப் பதிலீடு செய்வதன்மூலம் மின் நிலையாற்றலுக்கான வாய்பாட்டைப் பெறலாம். அதாவது

$$U_r - U_R = -Qq\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$$

$$= Qq\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)$$

இரு புள்ளி மின்னூட்டங்களின் நிலையாற்றல்

Q மின்னூட்டங்கொண்ட ஒரு கோளத்தின் புறத்தே மின்புலம் E-ஆனது Q மின்னூட்டங்கொண்ட புள்ளியளவு மின்னூட்டம் ஒன்று விளைவிக்கும் மின்புலத்திற்குச் சமமாதலால் மின்னூட்டப் புள்ளி Q-லிருந்து முறையே r_A, r_B என்ற தொலைவுகளிலுள்ள A என்ற புள்ளியிலிருந்து B என்ற புள்ளிக்குச் செல்லும்போது விளையும் நிலையாற்றல் மிகுதிப்பாடு

$$U_B - U_A = Qq\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right)$$

இது q-ஐ நிலேமின் விசையை எதிர்த்து A-லிருந்து B-க்கு எடுத்துச் செல்வதற்குச் செய்யப்பட்ட வேலேயாகும். இவ்வேலேயின் அளவானது A-லிருந்து B-க்கு q எடுத்துச் செல்லப்பட்ட பாதையைச் சார்ந்திருக்கக்கூடாது என்பது கருத்தைக் கவரக் கூடிய ஒன்ருகும். ஒரு பாதைவழி செல்வதற்குரிய வேலே மற்ருென்றின் வழிச் செல்வதற்குரிய வேலேயைவிடக் குறைவாக இருப்பின் A-லிருந்து B-க்குக்குறைந்த வேலேக்குரிய பாதை வழியே சென்று அதிக வேலேக்குரிய பாதை வழியே திரும்புவதன் மூலம் வற்ருத ஆற்றல் ஊற்றைப் பெறமுடியும். திரும்பிய பயணத்தின் போது நிலேமின் விசையினுல் செய்யப்பட்ட வேலேயானது இயங்கும் மின்னூட்டத்தின் இயக்க ஆற்றலாக மாற்றப்படுவதால் ஒவ்வொரு சுற்றுப் பயணத்தின்போதும் நிகர ஆற்றல் இலாபம் இருக்கும்.

ஆற்றல் மாற்றத்தைப்பற்றிய நமது எல்லாக் கணக்கீடு களிலும் நிலேயாற்றலில் ஏற்படும் 'மாறுதலே' இடம் பெறுகிறது. எனினும் Q என்ற புள்ளி மின்னூட்டத்திலிருந்து r தொலேவி லுள்ள q என்ற ஆய்வு மின்னூட்டத்தைப்பற்றிக் கூறுவது வசதி யாகும். 'தனி' (absolute) நிலேயாற்றலுக்கான அத்தகைய ஒரு வரையறை மனப் போக்கானதாகத்தான் இருக்க முடியும். நிலே யாற்றலே அளவிடுவதற்கான மனப்போக்கான ஒரு நிலேயோ அல்லது சுட்டுமட்டமோ (reference level) அத்தகைய வரையறைக் குத் தேவைப்படுகிறது. $(r = \infty)$ தொலேவிலிருந்து நிலேயாற்றலே அளவிடுவது மரபு ஆகும். சமன் 7-15-ல் U_A என்பது இச்சுட்டு மட்டமாக $(r = \infty)$ இருக்கட்டும். எனவே $U_A = 0$;

$$U_B - 0 = Qq\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{\infty}\right)$$

அல்லது $U_B = \dfrac{Qq}{r_B}$

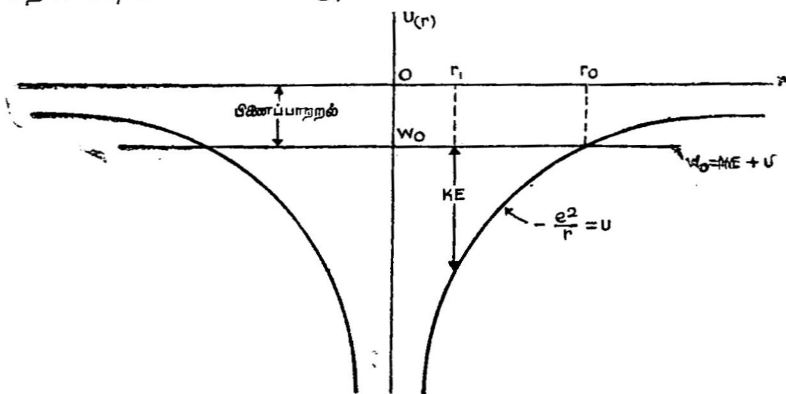
இதனே

$$U = \frac{Qq}{r} \qquad (7\text{-}16)$$

(r தொலேவில் வைக்கப்பட்ட இரு புள்ளி மின்னூட்டங்களின் நிலேயாற்றல்) என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம். இச் சமன்பாட்டிற் கான பௌதிகவியல் பொருள் என்னவெனில்: r தொலேவில் வைக்கப்பட்ட இரு புள்ளி மின்னூட்டங்களின் நிலேயாற்றல் என்பது அவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொலேவை முடிவிலாத்

தொலைவிலிருந்து r தொலைவுக்குக் கொண்டு வருவதற்குத் தேவை யான வேலையின் அளவு என்பதே யாகும்.

காட்டாக புரோட்டான் ஒன்றின் புலத்திலுள்ள ஒரு எலெக்ட்ரானின் நிலையாற்றலைக் கருதுவோம். இந்த எடுத்துக் காட்டில் $Q=e$ (புரோட்டானின் மின்னூட்டம்), $q=(-e)$ (எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் ஆகும். எனவே $U=-e^2/r$. இத் தொடர்பு படம் 7-14-ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 7-14.

புரோட்டானின் புலத்திலுள்ள எலெக்ட்ரானின் நிலையாற்றல் வரையுரு. வளைகோடானது எலெக்ட்ரானின் நிலையாற்றலைப் புரோட்டானிலிருந்து அதன் தொலைவின் சார்பலனைக் காட்டுகிறது.

எலெக்ட்ரானனது தொடக்கத்தில் புரோட்டானிலிருந்து r_0 தொலைவில் ஓய்விலிருப்பதாகக் கொள்வோம். அவ்வாறாயின் எலெக்ட்ரான், புரோட்டானை நோக்கி முடுக்கம்பெற்று இயக்க ஆற்றலைப்பெறும்; ஆகவே அதற்குச் சமமான நிலையாற்றலை இழக்கும். ஆற்றல் அழிவின்மை விதிப்படி $(KE+U)$-ன் மதிப்பு மாறாமல் இருக்கும். இந்த மாறாத அளவை மொத்த ஆற்றல் W_0 எனக் குறிப்போம். நிலையாற்றல் வரையுருவின் (Potential diagram) உதவியால் $W_0=KE+U$ என்ற தொடர்பை எளிதாகக் குறிக்க முடியும் (பக்கம் 127). படம் 7-14-ல் மொத்த ஆற்றல் $W_0=KE+U$ ஒரு மாறாத மதிப்பைப்பெற்று, சிவப்பு கிடைக்கோட்டால் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. $KE=W_0-U$ ஆதலால் இயக்க ஆற்றலானது இக்கோட்டின் உயரத்திற்கும், U-க்குரிய வளைகோட்டின் உயரத்திற்கும் உள்ள வேறுபாடு ஆகும். $r=r_0$ என்ற தொலைவில் இவ்வேறுபாடு சுழியாகிறது. எனவே W_0 என்ற மொத்த ஆற்றலைக்கொண்ட ஒரு எலெக்ட்ரான் ஒரு புரோட்டானி லிருந்து இருக்கக்கூடிய பெருமத்தொலைவு r_0 ஆகும்.

பிணைப்பாற்றல் (Binding energy)

எலெக்ட்ரானின் பிணைப்பாற்றல் என்பது அது புரோட்டானி லிருந்து முடிவிலாத் தொலைவிற்குச் செல்வதற்கு அதற்குக் கொடுக்க வேண்டிய புற ஆற்றலாகும் (external energy). பௌதிக வியலின்படி இது எலெக்ட்ரானைப் புரோட்டானிலிருந்து முற்றும் பிரிப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலின் அளவாகும். படம் 7-14-ல் பிணைப்பாற்றல் ***BE*** ஆனது W_0-ன் எண் மதிப்பாகும்.

$$\mathrm{BE} = -W_0$$

அல்லது $$BE = \frac{-e^2}{r_0}$$

பிணைப்பாற்றல் எப்போதும் நேர்க்குறியுடையதாய் இருக்க வேண்டும்.

மாதிரிக் கணக்கு 1

ஒரு எலெக்ட்ரான், புரோட்டான் ஒன்றிலிருந்து 2.4×10^{-9} செ.மீ தொலைவில் இருக்கும்போது 1.6×10^{-11} எர்கு இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. அதன் பிணைப்பாற்றல் என்ன?

$$W_0 = \mathrm{KE} + U = \mathrm{KE} - \frac{e^2}{r}$$

$$W_0 = 1{\cdot}6 \times 10^{-11} - \frac{(4.8\times10^{-10})^2}{2.4\times10^{-9}} \text{ எர்குகள்}$$

$$W_0 = -7\times10^{-11} \text{ எர்குகள்.}$$

எனவே பிணைப்பாற்றல் $= 7\times10^{-11}$ எர்குகள்.

மாதிரிக் கணக்கு 2

ஹைடிரஜன் அணுவிற்கான போஹ்ர் படிவத்தில் எலெக்ட்ரான் பாதையின் ஆரம் $R = 5.3\times10^{-9}$ செ.மீ ஆகும். (*a*) பிணைப் பாற்றலுக்கான ஒரு தொடர்பை e, R ஆகியவற்றின் அடிப் படையில் மட்டும் பெறுக. பிணைப்பாற்றலை எர்குகளில் கணக்கிடுக.

பிணைப்பாற்றல்

$$-W_0 = -\left(\frac{1}{2}mv^2 - \frac{e^2}{R}\right)$$

மைய நோக்கு விசையை நிலைமின் விசைக்கு சமனிடுவதன் மூலம் v-க்கான மற்றொரு தொடர்பைப் பெறலாம், அதாவது

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{e^2}{R^2}$$

அல்லது $mv^2 = \frac{e^2}{R}$

பிணைப்பாற்றலுக்கான சமன்பாட்டில் இதனைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$-W_0 = -\frac{1}{2}\left(\frac{e^2}{R}\right) + \frac{e^2}{R}$$

$= \frac{1}{2} \frac{e^2}{R}$; இது (a) பகுதிக்குடைய விடையாகும்.

$$= \frac{1}{2} \frac{(4.8 \times 10^{-10})^2}{5.3 \times 10^{-9}}$$

$= 21.8 \times 10^{-12}$ எர்குகள்

7-9 மின்னழுத்தம் (Electric Potential)

வோல்ட்களின் பிறப்பிடம்

கணக்கீடுகளைச் செய்வதற்கு ஓரலகு மின்னூட்டத்திற்கான மின் விசை எவ்வளவு வசதியானதோ அதே அளவுக்கு ஓரலகு மின்னூட்டத்திற்கான நிலையாற்றலும் வசதியுள்ளதாகும். ஓரலகு மின்னூட்டம் உணரும் விசை மின்புலம் எனப்படுகிறது. ஓரலகு மின்னூட்டத்திற்கான மின் நிலையாற்றல் மின் அழுத்தம் எனப் பெயர் பெறுகிறது. ஒரு புள்ளியில் மின் அழுத்தம் என்பது ஓரலகு நேர் மின்னூட்டம் ஒன்றை மூடிவிலாப் புள்ளியிலிருந்து அப்புள்ளிக்குக் கொண்டு வருவதற்குச் செய்யப்படும் வேலையாகும். மின்னழுத்தத்திற்கான CGS அலகு எர்க்/ஸ்டேட் கூலம் ஆகும். இந்த அலகு ஸ்டேட் வோல்ட் என்னும் சிறப்புப் பெயர் பெறுகிறது. MKS முறையில் மின்னழுத்தத்திற்கான அலகு ஜூல்/கூலம் ஆகும்; அது வோல்ட் என்னும் சிறப்புப் பெயர் பெறுகிறது. அவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொடர்பு

1 ஸ்டேட்வோல்ட் = 300 வோல்ட்கள்

ஆகும். q என்ற ஆய்வு மின்னூட்டம் ஒன்று ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் U என்ற நிலையாற்றலைப் பெற்றிருப்பின் அப்புள்ளியில் மின்னழுத்தம்

$$V = \frac{U}{q} \qquad (7\text{-}17)$$

ஆகும்.

E என்ற புலத்தை எதிர்த்து q என்ற மின்னூட்டத்தை $\triangle x$ தொலைவு நகர்த்துவதற்குச் செய்யப்பட்ட வேலையானது மின்னூட்டத்தின்மீது செயற்படும் விசை—qx, $\triangle x$ ஆகியவற்றின்

பெருக்கற் பலனாகும். எனவே மின்னூட்டத்தின் மின் நிலையாற்றல் (Electric Potential Energy) மிகுதிப்பாடு

$$\Delta U = -q E_x \Delta x$$

சமன்பாட்டினை qஆல் வகுக்க

$$\Delta V = -E_x \Delta x. \quad (7.18)$$

மாதிரிக் கணக்கு

ஒரு எலெக்ட்ரானின் மின் நிலையாற்றல் 21.8×10^{-12} எர்குகள் மின் அழுத்தத்தை ஸ்டேட்வோல்ட்களிலும், வோல்ட்களிலும் கணக்கிடுக.

$$V = \frac{U}{q} = \frac{21.8 \times 10^{-12}}{4.8 \times 10^{-10}} 0.0453 \text{ ஸ்டேட்வோல்ட்.}$$

1 ஸ்டேட் வோல்ட் = 300 வோல்ட்களாதலால்

$$V = 300 \times 0.0453 = 13.6 \text{ வோல்ட்கள்}$$

மின்னேற்பி:

மின்னேற்பியின் இரு தகடுகளுக்கிடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அளவிடுவதற்குச் சமன் 7-18-ஐ எளிதாகப் பயன் படுத்தலாம். தகடுகளுக்குடையே E மாறாத மதிப்பைப் பெற்றிருப்பதால் தகடுகளுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு d எனில் அவற்றிற்கிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடு $V = -Ed$. சமன் 7-13-ல் தரப்படும் E-க்கான மதிப்பைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$V = \frac{4\pi d}{A} Q \quad (7\text{-}19)$$

மின்னழுத்த வேறுபாடு மின்னூட்டத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதைக் காணலாம். மின்னூட்டத்திற்கும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கும் உள்ள விகிதம் ஒரு பயனுறு அளவாகும் (useful quantity). அது மின்னேற்புத்திறன் (capacity) என வரையறுக்கப் படுகிறது.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (7\text{-}20)$$

சமன் 7-19-ன் வலப்பக்கத்தைச் சமன் 7-20-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின் இணைத்தகடு மின்னேற்பி ஒன்றின் மின்னேற்புத்திறனைப் பெறலாம். அதாவது இணைத்தகடு மின்னேற்பியின் மின்னேற்புத் திறன்

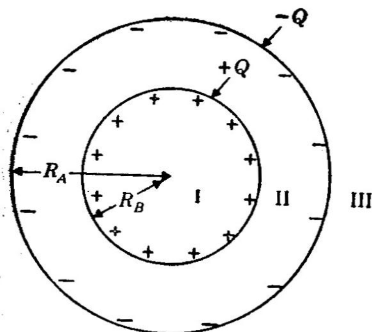
$$C = \frac{A}{4\pi d}$$

தகடுகளுக்கிடையே ஒரு மின் விளைவாற்றி இருக்குமாயின் அவற்றிற்கிடையேயுள்ள மின்புலமும் (E) அதன் பயனுறு

மின்னழுத்த வேறுபாடும் (V) குறையும்: அதாவது மின் விளை வாற்றியின் மின் விளைவாற்றி மாறிலி ϵ எனில் மின்னழுத்த வேறுபாடு முன் மதிப்பின் $1/\epsilon$ மடங்காகக் குறையும். எனவே, மின் விளைவாற்றியையுடைய ஒரு மின்னேற்பியின் மின்னேற்புத்திறன்

$$C = \epsilon A/4\pi d$$

மாதிரிக் கணக்கு



படம் 7-15

R_A, R_B என்ற ஆரங்களைக் கொண்ட இரண்டு பொதுமையக் கோளகக் கூடுகள் அமைக்கும் கோளக மின்னேற்பி.

படம் 7–15-ல் உள்ள கோளக மின்னேற்பி அதன் உள்கூட்டின் மீது $+Q$ என்ற மின்னூட்டத்தையும் வெளிக் கூட்டின் மீது—Q என்ற மின்னூட்டத்தையும் கொண்டுள்ளது. I, II, III ஆகிய பகுதிகளில் மின்புலங்களைக் கணக்கிடுக. மின்னேற்புத் திறனையும் கணக்கிடுக.

இங்கு II பகுதியில் மட்டுமே மின்விசைக் கோடுகள் இருக்கும். உட்பரப்பிலிருந்து $4\pi Q$ கோடுகள் தோன்றி வெளிப்பரப்பை அடையும். இவ்வாறாக E_I, E_{III} ஆகியவை சுழியாகும். பகுதி 11-ல் மின்புலமானது $4\pi Q$ (கோடுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை)ஐ $4\pi r^2$ (அவை ஊடுருவக்கூடிய மொத்தப் பரப்பளவு)-ஆல் வகுக்கக் கிடைக்கும். (r என்பது கோளங்களின் மையத்திலிருந்து மின்புலம் காணவேண்டிய புள்ளியின் தொலைவு). எனவே $E_{II} = Q/r^2$. இது, ஒரு புள்ளி மின்னூட்டம் Q-க்கான மின்புலமாதலால் சமன் 7-15-ஐ மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் காண்பதற்குப் பயன்படுத்தலாம். அதாவது,

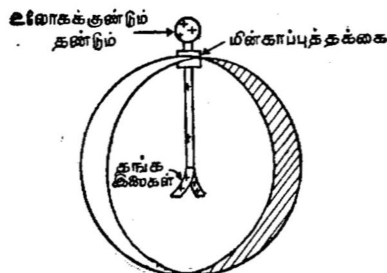
$$V_B - V_A = \frac{Q}{R_B} - \frac{Q}{R_A}$$

$$\frac{Q}{V_B - V_A} = \frac{1}{\frac{1}{R_B} - \frac{1}{R_A}}$$

எனவே மின்னேற்புத் திறன்

$$C = \frac{R_A R_B}{R_A - R_B}$$

மின்காட்டி (Electrescope)



படம் 7-16
மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட மின்காட்டி.

முற்காலங்களில் மின்னூட்டத்தைக் கண்டுணரவும் மின் அழுத்தத்தை அளவிடவும் பயன் படுத்தப்பட்ட கருவி படம் 7.16-ல் காட்டப்பட்டுள்ள மின்காட்டி ஆகும். அதன் உச்சியிலுள்ள உலோகக் குண்டை மின்னூட்டுவிக்கப் பட்ட கடத்தி ஒன்றினுல் தொட்டால் (தங்கம் அல்லது அலுமினியத்தாலான) மெல்லிய இலைகள் கடத்தியிலுள்ளதை யொத்த மின்னூட்டத்தைப் பெறுகின்றன. அந்த மின்னூட்டத்தின் அளவானது இலைகளுக்கும் மின்காட்டியின் சுவர்களுக்கும் இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். இவ்வாறு இலைகள் பெற்ற ஒத்த மின்னூட்டத்தின் காரணமாக அவற்றிற்கிடையே ஒரு ஒதுக்குவிசைச் செயற்படும். அதனை, ஒரு அளவு கோலின்மீது ஏற்படும் விலகலால் அளவிடலாம்.

மின்காட்டியை, படம் 7-4-ல் ஒரு கோளத்தை மின்னூட்டுவித்ததுபோல் மின்தூண்டல் முறையிலும் மின்னூட்டுவிக்கலாம். மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட ஒரு மின்காட்டியை மின்னூட்டத்தைக் கண்டுணரவும் அதன் தன்மையை அறியவும் பயன்படுத்தலாம். எதிர் மின்னூட்டம்கொண்ட தண்டு ஒன்றை எதிர் மின்னூட்டங் கொண்ட மின்காட்டியினருகில் கொண்டுவருவதாகக் கொள்வோம். தண்டானது இலைகளை நோக்கி மேலும் அதிக எலெக்ட்ரான்களை விரட்டும், எனவே இலைகள் மேலும் விரிவடையும். நேர் மின்னூட்டம் கொண்ட ஒரு தண்டு இலைகளில் விஞ்சியுள்ள சில எலெக்ட்ரான்களைத் தன்னை நோக்கி ஈர்க்குமாதலால் இலைகளின் விரிவு குறையும்.

மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட மின்காட்டி ஒன்றைப் பல நாட்களுக்கு விட்டுவைப்போமாயின் அது சிறிது சிறிதாக மின்னூட்டத்தை இழக்கும். அதிலுள்ள காற்று மூலக்கூறுகள் காஸ்மிக் கதிர் (Cosmic rays)களால் தொடர்ந்து அயனியாக்கம் செய்யப்படுவதே இதற்குக் காரணமாகும். இத்தகைய அயனிகளுள் சில மின்காட்டியில் விஞ்சியிருக்கும் மின்னூட்டத்தை ஏற்றுக் கொள்ளக்கூடும். ஒரு மின்காட்டியின் மின்னிழப்பு வீதம் அதற்குக் காரணமாயமைந்த பின்னணிக் கதிர்வீச்சின் (back

ground radiation) (கதிர் வீச்சு) அளவுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். ஒருவர் பெறக்கூடிய கதிர்வீச்சின் அளவை அளவிடுவதற்குப் பொதுவாகப் பயன்படும் கருவி ஒரு பென்சில் அளவேயுள்ள சிறிய மின்காட்டியாகும். அத்தகைய மின் அளவு மானியின் (dosimeter) மின்னிழப்பு அளவை அதன்மீது ஒளி விழும்படியாகப் பிடிப்பதன் மூலம் எளிதில் அறியலாம். இந்த எளிய கருவி போர்ப் பாது காப்புத் துறையில் (Civil defence) மதிப்பிடற்கரிய உதவி புரிகிறது.

சுருக்கம்

இப்பொழுது நாம் மின்சாரத்தைப்பற்றிய படிப்பில் பாதி யளவு கடந்துள்ளோம். மின்னூட்டம் பெற்ற நிலையான பொருட்களின் விசைகள், ஆற்றல்கள் ஆகியவற்றை எவ்வாறு கணக்கிடுவது எனக் கொள்கையளவில் அறிந்துள்ளோம். மின் னூட்டங்கள் இயங்கும்பொழுது மட்டும் நிகழக்கூடிய புதியவகை விசை ஒன்றை அடுத்த இயலில் காண்போம். இவ்விசை காந்த விசை எனப்படும். அடுத்து மின்னோட்டங்கள் மதிப்பில் மாறும் பொழுதுமட்டும் விளையக்கூடிய மற்றொருவகை நிகழ்ச்சியை (மின் காந்தத் தூண்டுதல்)ப் பற்றிக் காண்போம். இறுதியாக, மாறும் மின்னோட்டம் ஒன்று $v=c$ என்னும் திசைவேகத்துடன் இயங்கும் மின் காந்த அலை (Electromagnetic wave) ஒன்றைப் பரப்பும் என நிறுவும் முயற்சியில் மின்சாரத்தைப்பற்றிய விதிகள் யாவும் இணைக்கப்படும். முது பௌதிகத்தின் அரும்பெரும் இறுதிச் சாதனையை அதாவது மின்சாரக் கொள்கைகளைக் கொண்டு ஒளிக்கான விளக்கத்தை விளக்குவதே 8-வது இயலின் உச்சகட்டமாக அமைகிறது.

கணக்குகள்

1. உலோகக் கோளம் ஒன்று நேர் மின்னூட்டுவிக்கப் பெறு கிறது. அதன் நிறை கூடுமா, குறையுமா அல்லது அதே அளவா யிருக்குமா?

2. -40 esu மின்னூட்டம் ஒன்று $+90$ esu மின்னூட்டம் ஒன்றிலிருந்து 10 செ.மீ தொலைவில் வைக்கப்படுகிறது.

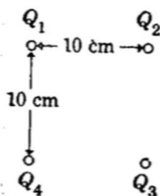
(a) அவைகளுக்கிடையே உள்ள விசை எவ்வளவு?

(b) முடிவிலாத் தொலைவுக்குச் செல்லக்கூடிய விசைக் கோடுகள் எத்தனை? (வேறு மின்னூட்டங்கள் எதுவும் எங்கும் இல்லையெனக் கொள்க)

3. 6×10^3 esu மின்னூட்டம் ஒன்று 300 esu மின்னூட்டமும் 3 கி. நிறையும் கொண்ட தக்கைப்பந்து ஒன்றிலிருந்து 1 மீ தொலைவில் உள்ளது. தக்கைப்பந்தின் தொடக்க முடுக்கம் என்ன?

4. 10 செ.மீ பக்கங்களையுடைய ஒரு சதுரத்தின் ஒரு மூலையில் + 400 esu மின்னூட்டமும் அதற்கு எதிர்மூலையில் + 300 esu மின்னூட்டமும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. மூன்றாவது மூலையில் வைக்கப்பட்ட + 10 esu மின்னூட்டத்தின்மீது செயற்படக் கூடிய மொத்த விசையைக் கணக்கிடுக.

கணக்கு 5



5. 10 செ.மீ பக்கமுடைய சதுரம் ஒன்று அதன் எல்லா மூலைகளிலும் 100 esu அளவுள்ள மின்னூட்டங்களைக் கொண்டுள்ளது. Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 ஆகியவற்றின் குறியீடுகள்.

(a) + + + +.
(b) + − + −.
(c) + + − −.

எனில் சதுரத்தின் மையத்தில் E-ன் எண் மதிப்பு, திசை ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

6. மேற்கூறப்பட்ட (a), (b), (c) பகுதிகளுக்கான மின்னழுத்தங்களைக் கணக்கிடுக. தொகுபயன் மின்னழுத்தமானது தனித்தனி மின்னழுத்தங்களின் குறியியல் கூட்டுத் தொகையாகும்.

7. ஹைடிரஜன், கார்பன், யுரேனியம்-238 ஆகியவற்றில் ஒரு கிராமுக்கு எத்தனை எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன?

8. எதிர் மின்னூட்டத் தண்டு ஒன்றை மின்னூட்டமற்ற மின்காட்டி ஒன்றின் அருகில் எடுத்துச் சென்றால் இலைகள் விரிகின்றன. இலைகளின்மீது உள்ள மின்னூட்டம் எத்தகையது? மின்காட்டியின் குமிழ் கணநேரத்திற்குக் கையால் தொடப்பட்டு தண்டு நீக்கப்படுகிறது. இப்பொழுது இலைகளிலுள்ள மின்னூட்டம் எத்தகையது?

9. ஒரு மின்காட்டியானது பட்டுடன் தேய்க்கப்பட்ட கண்ணாடித் தண்டு ஒன்றினால் மின் தூண்டல் முறையில் மின்னூட்டுவிக்கப்படுகிறது. மின்காட்டியின் அருகில் மின்னூட்டம் ஒன்றை

எடுத்துச் செல்லும்பொழுது இலைகள் குவிகின்றன. இரண்டாவது மின்னூட்டம் எத்தகையது?

10. ஹீலியம் அணுக்கருவில் 1.5×10^{-13} செ.மீ தொலைவில் இரு புரோட்டான்கள் உள்ளன எனக் கருதினால்

(a) அவற்றிற்கிடையேயுள்ள நிலைமின் விசை எவ்வளவு?

(b) இரு புரோட்டான்களை அவ்வளவு அருகில் கொண்டு வர எவ்வளவு வேலை செய்ய வேண்டும்?

11. ஒரு எலெக்ட்ரானானது ஒரு புரோட்டானிலிருந்து 5.3×10^{-9} செ.மீ தொலைவில் உள்ளது. புரோட்டானிலிருந்து தப்பிச் செல்ல அது பெற்றிருக்க வேண்டிய திசைவேகம் என்ன?

12. இரு புரோட்டான்களுக் கிடையேயுள்ள நிலைமின் விசைக் கும் ஈர்ப்பு விசைக்கும் உள்ள விகிதம் என்ன?

13. இரு இணையான தகடுகள் 2 செ.மீ தொலைவில் வைக்கப் பட்டுள்ளன. அவற்றிற் கிடையேயான மின்புலம் 200 டைன்கள்/ஸ்டேட் கூலம் ஆகும். தகடுகளுக்கிடையே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாடு என்ன?

14. ஒரு எலெக்ட்ரான் ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த வேறு பாட்டினால் முடுக்கப்படுகிறது. அதன் இயக்க ஆற்றலில் ஏற்படும் மிகுதிப்பாடு என்ன? அதனையே ஒரு புரோட்டானுக்குக் கணக்கிடுக.

15. ஒரு மில்லியன் வோல்ட் வான்டி கிராஃப் மின்னாக்கியின் மின்னூட்டக் கோளத்தை நோக்கி எலெக்ட்ரான்கள் ஈர்க்கப் படுகின்றன. அவை கோளத்தை அடையும் பொழுது அவற்றின் இயக்க ஆற்றல் எவ்வளவு?

16. 8 செ.மீ தொலைவில் வைக்கப்பட்ட, சதுர சென்டி மீட்டருக்கு 5 esu நேர் மின்னூட்டங் கொண்ட இரு முடிவிலா இணைத் தளங்கள் உள்ளன.

(a) அவற்றிற்கிடையேயுள்ள மின்புலம் எவ்வளவு?

(b) இடப்புறத் தளத்தின் இடது பக்கத்தில் 3 செ.மீ தொலைவில் மின்புலம் எவ்வளவு?

17. 1 செ.மீ விட்டமுள்ள கார்பன் கோளம் ஒன்று மிலியன் புரோட்டான்களுக்கு ஒரு அதிகமான எலெக்ட்ரானைக் கொண் டுள்ளதாகக் கருதுவோம்.

(*a*) அடர்த்தி $D = 1.7$ கி/செ.மீ^{3} என்றால் மின்னூட்டம் எவ்வளவு?

(*b*) கோளத்தின் பரப்பில் மின்புலம் எவ்வளவு?

18. படம் 7-13-ல் உள்ள இணைத்தகடு மின்னேற்பிக்கான (parallel plate condenser) நிலையாற்றல் படத்தை வரைக.

19. படம் 7.15-ல் உள்ள கோளக மின்னேற்பிக்கான நிலையாற்றல் படத்தை வரைக.

20. 100 செ.மீ^{2} பரப்பளவுள்ள இரு தகடுகள் 2 செ.மீ தொலைவில் உள்ளன. இடப்பக்கத் தகட்டின் மீது மின்னூட்டம் -5 esu; வலப்பக்கத் தகட்டின்மீது மின்னூட்டம் -10 esu.

(*a*) இடப்பக்கத் தகட்டையடுத்து இடப்பக்கத்தில் மின்புலம் என்ன?

(*b*) இரு தகடுகளுக்கிடையே மின்புலம் என்ன?

( ) வலத்தகட்டையடுத்து வலப்பக்கத்தில் மின்புலம் என்ன?

(*d*) இரு தகடுகளுக்கிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடு என்ன?

21. புவியானது சீரான அடர்த்தியைக் கொண்டுள்ளது எனக் கருதுக.

(*a*) அது இப்போதுள்ள விட்டத்தில் பாதியளவே கொண்டிருக்குமாயின் அதன் நிறையைப் புவியின் நிறை M_0-ன் அடிப்படையில் கணக்கிடுக.

(*b*) பாதியளவுள்ள அத்தகைய புவியின் பரப்பில் g-ன் மதிப்பு என்னவாக இருக்கும்?

(*c*) முழு அளவுப் புவியின் மையம் வரை ஒரு துளையிட்டால் அத்துளையின் அடியில் g-ன் மதிப்பு என்னவாக இருக்கும்?

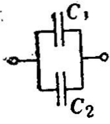
22. புவியானது ஒரு எலெக்ட்ரான்/செ.மீ^{2} என்ற அளவுக்கு விஞ்சிய பரப்பு மின்னூட்டம் கொண்டிருப்பதாகக் கருதுக.

(*a*) பரப்பிற்குச் சற்றே கீழ் மின்புலத்தைக் கணக்கிடுக.

(*b*) பரப்பிற்குச் சற்றே மேல் மின்புலத்தைக் கணக்கிடுக.

(*c*) புவியின் மின்னழுத்தத்தைக் கணக்கிடுக.

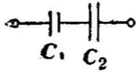
கணக்கு 23



23. C_1, C_2 என்ற இரு மின்னேற்பிகள் இணையாக இணைக்கப்பட்டுள்ளன. அத்தகைய அமைப்பின் மொத்த மின்னேற்புத்திறன் என்ன?

$$C = \frac{Q_1 + Q_2}{V}$$

கணக்கு 24



24. அவ்விரு மின்னேற்பிகளும் தொடரிணைப்பு முறையில் இணைக்கப்பட்டிருப்பின் மொத்த மின்னேற்புத்திறன் என்ன? குறிப்பு: அவையிரண்டும் Q என்ற ஒரே மின்னூட்டத்தைக் கொண்டுள்ளதால்

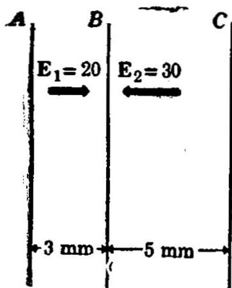
$$C = \frac{Q}{V_1 + V_2}$$

25. பொது அச்சையுடைய இரு மின்னூட்ட உருளைகளின் ஆரங்கள் R_1 R_2 ஆகும். அவற்றின் மின்னூட்ட அடர்த்திகள் முறையே ρ_1, ρ_2 ஸ்டேட் கூலம்கள்/செ.மீ நீளம் ஆகும்.

(*a*) $r > R_2 > R_1$ என்னும் வகையிலுள்ள r என்ற தொலைவில் E-ன் மதிப்பு என்ன ?

(*b*) இரு உருளைகளுக்கிடையே பொது அச்சிலிருந்து r தொலைவிலுள்ள புள்ளியில் E-ன் மதிப்பு என்ன ? விடையை r, R_1, R_2, ρ_1, ρ_2 ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் தருக.

கணக்கு 26



26. படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு அமைந்த தளங்களுள் A-ன் மின்னழுத்தம் சுழியாகும்.

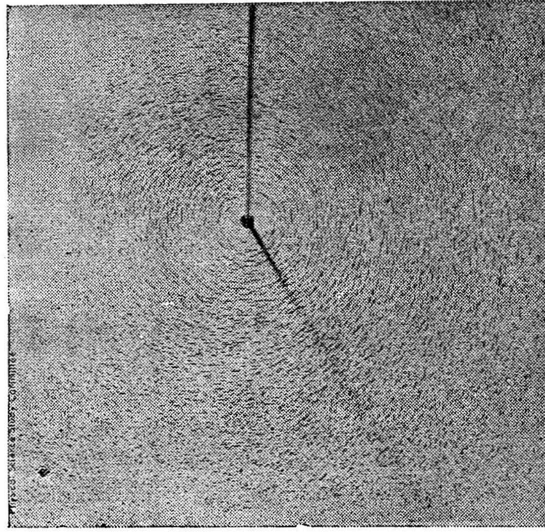
(*a*) B-ன் மின்னழுத்தம் என்ன?

(*b*) C-ன் மின்னழுத்தம் என்ன?

(*c*) தளங்களுள் ஒவ்வொன்றின் மீதும் மின்னூட்ட அடர்த்தி என்ன ?

27. மின்னிரு துருவம் ஒன்றின் மையத்திலிருந்து அதன் அச்சின் வழியே r தொலைவில் மின்னழுத்தம் என்ன? r, Q, L, ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் விடை தருக.

28. ஈர்ப்பியல் புலத்தை ஓரலகு நிறைக்குள்ள ஈர்ப்பு விசை யெனவரையறுக்கிறோம். ஒரு சதுர செ.மீ-ல் உள்ள ஈர்ப்புவிசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை ஈர்ப்பியல் புலத்திற்குச் சமம் என வரை யறுப்போமாயின் M நிறையையுடைய ஒரு பொருளினுள் எத்தனை ஈர்ப்பு விசைக் கோடுகள் நுழையும்?



மின்காந்தவியல்
(Electromagnetism)

இயல் 8

8. மின்காந்தவியல்

இந்த இயலுடன் மின்சாரத்தைப்பற்றிய ஆய்வு முற்றுப் பெறும். 9–வது இயல் எலெக்ட்ரானியல் (electronics) மற்றும் மின் சுற்றுக்கள் போன்ற மின்சாரத்தின் விரிவான பயன்களைப் பற்றிக் கூறுகிறது. இங்கு, மின்னோட்டங்களிடையேயுள்ள வலிமைமிக்க விசை, மாறு மின்னோட்டத்தினால் விளையும் மின் புலம் ஆகிய இரு புதிய மின்சார நிகழ்ச்சிகளைப்பற்றி முதன் முதலாகக் காண்போம். புதியவகை விசையானது காந்தவிசை (magnetic force) எனப்பெறும்; தூண்டப்பட்ட மின்புலத்தைப் பற்றிய நிகழ்ச்சி மின் காந்தத் தூண்டல் எனப்படும். இந்த இயலின் உச்ச கட்டமானது மாறு மின்னோட்டம் ஒன்று $v=c$ என்ற திசைவேகத்துடன் பரவும் மின்காந்த அலை ஒன்றை உரு வாக்க வேண்டும் என்பதை நிறுவுவதேயாகும். மின்சாரக் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் ஒளியை இவ்வாறு விளக்குவது முது பௌதிகத்தின் இறுதிப்பெரும் சாதனையாகும்.

8-1 மின்னோட்டம் (Electric current)

மின்சாரம் (Electricity)

மின்னோட்டங்களிடையேயுள்ள புதியவகை விசையை ஆராயு முன் மின்னோட்டத்தை நாம் வரையறுக்க வேண்டும். மின் னோட்டம் I என்பது கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் வரையறுக்கப் படுகிறது.

$$I = \frac{Q}{t} \tag{8-1}$$

Q என்பது t கால அளவில் ஒரு குறிப்பிட்ட பரப்பின் வழியாகச் சென்ற நிகர மின்னூட்டமாகும். ஒரு ஸ்டேட் ஆம்பியர் என்பது ஒரு வினாடிக்கு ஒரு ஸ்டேட் கூலம் என வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு வினாடிக்கு ஒரு கூலம் எனினும் MKS அலகு ஒரு ஆம்பியர் என அழைக்கப்படுகிறது. இவ்வாறாக,

$$1 \text{ ஆம்பியர்} = \left|\frac{c}{10}\right. \text{ ஸ்டேட் கூலம்/வி} = 3 \times 10^9 \text{ ஸ்டேட் ஆம்பியர்} \quad (8\text{-}2)$$

ஒரு உலோகக் கம்பியில் நேர்மின்னூட்டங்கள் (அணுக்கருக்கள்) இயங்க முடியாது; அவை ஒரு படிக அமைப்பில் கட்டுண்டு உள்ளன. எனினும் புற எலெக்ட்ரான்கள் அல்லது கடத்தும் எலெக்ட்ரான்கள் (conduction electrons) கம்பியின் வழியே தடையின்றி இயங்கும் நிலையில் உள்ளன. கம்பியின் ஒரு குறிப் பிட்ட பரப்பின் வழியே விநாடிக்கு N எலெக்ட்ரான்கள் செல்ல முடியுமாயின் e என்பது எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டமானால் மின்னோட்டத்தின் அளவு Ne ஆகும்.

அவ்வாறாயின் மின்னோட்டத்தின் திசை என்ன? பெஞ்சமின் ஃபிராங்க்லின் என்பவரால் நிறுவப்பட்ட மரபுப்படி மின்னேற்பித் தகடு ஒன்றினுள் பாயும் மின்னோட்டமானது அத்தகட்டிற்கு ஒரு நேர் மின்னூட்டத்தைக் கொடுக்கும். எனினும் கடத்துகை எலெட்க்ரான்கள் தகட்டினின்றும் வெளியே பாய்வதன் மூலம் மின்னேற்பித் தகடு நேர் மின்னூட்டம் பெறுகிறது என்பதை நாமறிவோம். எனவே கடத்தும் எலெக்ட்ரான்கள் எப்பொழுதும் மின்னோட்டத்திற்கு எதிர்த்திசையிலேயே இயங்குகின்றன. எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தை எதிர் மின்னூட்டம் என்னாது நேர் மின்னூட்டம் எனக் கொண்டிருப்போமாயின் இந்த இடர் பாடு எழுந்திராது,

மாதிரிக் கணக்கு

ஹைடிரஜன் அணுவின் போஹ்ர் அமைப்பில் புரோட்டானைச் சுற்றிவரும் மின்னோட்டத்தின் மதிப்பு என்ன?

மின்னோட்டமானது எலெக்ட்ரானின் பாதையில் ஒரு குறிப் பிட்ட புள்ளியை அது ஒரு விநாடிகால அளவில் கடக்கும் எண்ணிக்கை, e ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனாகும். அதாவது $I = fe$; f என்பது எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதை அடுக்கம் (orbital frequency) $v/2\pi R$ ஆகும்.

$$\text{எனவே } I = \frac{ev}{2\pi R}$$

பக்கம் 186-லிருந்து $v = 2.18 \times 10^8$ செ.மீ/வி. $R = 5.3 \times 10^{-9}$ செ.மீ என அறிகிறோம். இம் மதிப்புக்களைப் பதிலீடு செய்வோ மாயின்,

$I = 3.14 \times 10^6$ ஸ்டேட் ஆம்பியர் $= 1.05 \times 10^{-8}$ ஆம்பியர்

ρ ஸ்டேட் கூலம்கள்/ சென்டிமீட்டர் அளவுள்ள கோட்டு மின்னூட்டம் ஒன்றினை அதன் நீளத்திற்கிணையாக V என்ற திசை வேகத்துடன் இயங்குவதாலும் மின்னோட்டத்தை உருவாக்கலாம். அவ்வாறுயின் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியை ஒரு விநாடியில் கடக்கும் மின்னூட்டமானது 1 விநாடியில் அப்புள்ளி வழியே செல்லும் கம்பியின் நீளம், ρ ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனாகும் எனவே ρ ஸ்டேட் கூலம்/ செ.மீ அளவுள்ள இயங்கும் கோட்டு மின்னூட்டம் ஒன்றினால் விளையும் மின்னோட்டம்

$$I = \rho v \text{ ஸ்டேட் ஆம்பியர்} \qquad (8\text{-}3)$$

ஆகும்.

வாயுக்களிலும் திரவங்களிலும் கூட மின்னோட்டங்கள் நிகழக் கூடும். நியான் விளக்குகளும் ஒளிர் விளக்கு (fluorescent lights) களும் வாயுக்களில் மின்னோட்டங்கள் நிகழ்வதற்குரிய எடுத்துக் காட்டுகளாகும். அத்தகைய விளக்குகளில் மின்னோட்டமானது எலெக்ட்ரான்கள் மட்டுமின்றி நேர்மின் அயனிகளும் இயங்குவதால் நிகழ்கிறது. எனினும் எலெக்ட்ரான்கள் நேர்மின் அயனிகளைவிட வேகமாக இயங்கி மின்னோட்டத்திற்கு முக்கிய காரணமாய் அமைகின்றன. ஒரு எலெக்ட்ரான், வாயு அயனி அல்லது அணு ஒன்றுடன் மோதும் பொழுது இயக்க ஆற்றலானது அணுவினால் உட்கவரப்பட்டு பின்னர் மின்காந்தக் கதிர்களாக வெளிவிடப்படலாம். இதனையே ஒளியாக நாம் காண முடிகிறது.

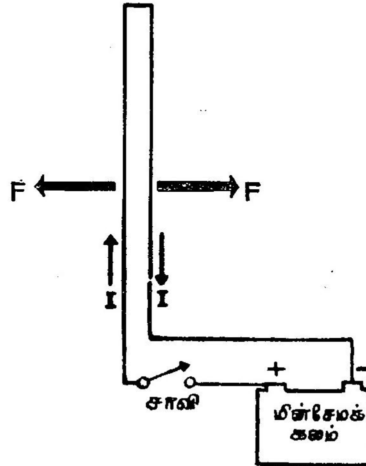
பெரும்பான்மையான திரவங்கள் தடையின்றி இயங்கக்கூடிய அயனிகளைக் கொண்டுள்ளதால் மின்னோட்டத்தைக் கடத்த வல்லவையாக அமைகின்றன. இரு உலோகத் தகடுகள் அல்லது மின் வாய்களை ஒரு மின்னழுத்தக் கருவி (voltage source) யுடன் இணைத்து அத்தகைய திரவம் ஒன்றினுள் அமிழ்த்தினால் நேர், எதிர் அயனிகள் அவற்றிற்குரிய மின் வாய்களை நோக்கி எதிர்த் திசைகளில் இயங்கி ஒரு மின்னோட்டத்தை விளைவிக்கும். அயனிகள் மின் வாய்களை அடைந்தவுடன் மின்னூட்டமற்றுப் போகின்றன. காட்டாக, சாதாரண உப்பை ($NaCl$) நீரில் கரைத்தால் Na^+ அயனிகள் எதிர் மின்வாயை நோக்கியும் Cl^- அயனிகள் நேர்மின்வாயை நோக்கியும் செல்கின்றன. Cl^- அயனிகள் மின்னூட்டத்தை இழக்கும்போது வேதியியல் முறைப்படி அவை ஒன்றுசேர்ந்து Cl_2 (குளோரின் வாயு)-ஐ உருவாக்குகின்றன. அவ்வாயுக் குமிழிகள் திரவமட்டத்தை நோக்கி உயர்வதைக் காணலாம். இத்தகைய வேதியியல்

புகுப்புமுறை மின்பகுப்பு எனப்படுகிறது; இம் மின்பகுப்பு வாணிகத்துறைப் பயனுடையதாயுள்ளது.

8-2 மின்னேட்டங்களிடையே விசை

மின்னூட்டங்கள் இயங்கலாகின்றன

மின்சாரத்தைப் பற்றிய ஆய்வில் இதுவரை இயற்கையின் ஒரே ஒரு அடிப்படை விதி (கூலம் விதி) மட்டுமே கூறப்பட்டது. அவ்விதியில் மின்னூட்டங்கள் நிலையாக இருக்க வேண்டுமென்று திட்டவட்டமாகக் கூறப்பட்டது. மின்னூட்டங்கள் இயங்கத் தொடங்குமாயின் புதிய விளைவு ஒன்று நிகழ்கிறது. கூலம் விசையுடன் சேர்க்கப்பட வேண்டிய காந்தவிசை என்னும் புதிய விசை ஒன்று தோன்றுகிறது. உண்மையில் கூலம்விசை சுழியாகும் போதுகூட பெருமளவு காந்தவிசை இருக்கக்கூடும். மின் மோட்டார் அத்தகைய ஒரு எடுத்துகாட்டாகும். மின்னூட்ட மற்ற இரு இணையான உலோகக் கம்பிகளில் மின்னேட்டம் நிகழும் பொழுது அவற்றிற்கிடையே செயற்படும் காந்தவிசையே மின் மோட்டாரின் தத்துவமாகும். இத்தகைய அடிப்படை நிகழ்ச்சியை நிகழ்த்துவதற்குத் தேவையானவை யாவும் ஒரு மின்சேமக் கலம், ஒரு சாவி, படம் 8-1-ல் காட்டியுள்ளவாறு அமைந்த ஒரு கம்பி ஆகியவையே. சாவியை மூடினால் இரு கம்பிகளும் ஒன்றையொன்று கணிசமான அளவுக்கு விரட்டும். இத்தகைய மின் சுற்று குறுஞ்சுற்று (short circuit) ஆதலால் சாவியை நீண்ட



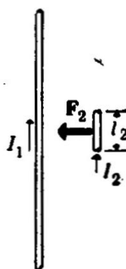
படம் 8-1

இணையான மின்னேட்டங்களிடையேயான விசையைக் காண்பதற்குரிய மின்சுற்று

நேரம் மூடிவைக்கக்கூடாது. குறுஞ்சுற்று ஒன்றில் மின்னோட்டம் மிக அதிகமாக அமைந்து கம்பி சூடேறும்; மின் சேமக்கலம் விரைவில் மின்னேற்றத்தை இழக்கும்.

இணை மின்னோட்டங்களுக்கிடையேயான விசையை அளவிட முடியும். அத்தகைய அளவீட்டிலிருந்து அவ்விசையானது மின்னோட்டங்களின் பெருக்கற் பலனுக்கு நேர்விகிதத்திலும் அவைகளுக்கிடையேயான தொலைவுக்கு எதிர்விகிதத்திலும் இருப்பதாகக் காணப்பட்டது. எனவே இணை மின்னோட்டங்களுக்கிடையேயான புதிய விசைக்கான விதியின்படி

$$F_2 = \frac{KI_1 I_2 l_2}{r}$$



படம் 8-2

முடிவிலா நீளமுள்ள I_1 என்ற மின்னோட்டத்தின் பயனாய் I_2 l_2 என்ற மின்னோட்டத்தின்மீது செயற்படும் விசை

F_2 என்பது படம் 8.2-ல் காட்டியுள்ளவாறு l_2 நீளமுடைய I_2 என்ற மின்னோட்டத்தைத் தாங்கும் கம்பியின் மீதுள்ள விசையாகும்; K என்பது சோதனைமூலம் மதிப்பிடப்பட வேண்டிய ஒரு விகித மாறிலி. விரைவில் விளங்கும் சில காரணங்களுக்காக $K = 2/k^2$ எனப் பயன்படுத்துவோமாயின்,

$$F_2 = \frac{1}{k^2} \frac{2 I_1 I_2 l_2}{r} \tag{8-4}$$

I_1, I_2, l_2, r, F_2 ஆகியவற்றை அளவிடுவதன் மூலம் சோதனையியல் மாறிலியான k-ன் மதிப்பை அறியலாம். சமன் 8-4 விருந்து

$$k = \sqrt{\frac{2I_1 I_2 l_2}{F_2 r}} \tag{8-5}$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் k-ன் அலகுகள் $\frac{\text{ஸ்டேட் கூலம்}}{\text{வி} \times \sqrt{\text{டைன்}}}$ ஆகும்.

சென்டிமீட்டர், மற்றும் டைன் அடிப்படையில் ஸ்டேட்கூல மின் அலகுகளைக் காண கூலம் விதியை பயன்படுத்துவதன் மூலம் இதனை எளிதாக்கலாம்.

கூலம் விதிப்படி

$$\text{டைன்} = \frac{(\text{ஸ்டேட் கூலம்})^2}{\text{செ.மீ}^2}$$ அல்லது ஸ்டேட் கூலம் = செ.மீ $\times \sqrt{\text{டைன்}}$

எனவே k-ன் அலகுகள் $= \dfrac{\text{செ.மீ} \times \sqrt{\text{டைன்}}}{\text{வி} \times \sqrt{\text{டைன்}}} = \dfrac{\text{செ.மீ}}{\text{வி}}$

சோதனை மூலம் கிடைக்கப்பெற்ற மதிப்பீட்டின்படி

$k = 2.9979 \times 10^{10}$ செ.மீ/வி.

ஒளியின் அளவிடப்பட்ட வேகமும் $2{\cdot}9979 \times 10^{10}$ செ.மீ/வி ஆகும்! இத்தகைய ஒருமைப்பாடு ஏதோ எதிர்பாராத வகையில் நிகழ்வதில்லை. ஏதோ ஒரு காரணத்தினுல் நமது புதிய விசைக் கான விதியில் இடம்பெறும் மாறிலி ஒளியின் வேகமாக இருக்க வேண்டும். எனவே இப்பொழுது முதல் அதனை k என்பதற்குப் பதில் c என்றே அழைப்போம். அடிப்படை மின்சாரச் சமன் பாட்டில் ஒளியின் வேகம் இடம் பெறுவதானது மின்சார விதிகள் ஒளிக்கோட்பாட்டுடன் ஏதோ தொடர்பு கொண்டிருக்க வேண்டு மென்பதை மலியுறுத்திக் கூறுகிறது. மின்சார விதிகளிலிருந்து ஒளிக் கோட்பாட்டினைப் பெறுவது இந்த இயலின் நோக்கங்களுள் ஒன்ருகும் (பார்க்க பிரிவு 8-9).

சுருக்கமாகக் கூறுமிடத்து சமன் 8-4-ஐ

$$F_2 = \frac{I_2 l_2}{c} \times \frac{2\, I_1}{c\, r} \qquad (8\text{-}6)$$

என எழுதலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு

1 செ.மீ தொலைவிலுள்ள, 1 ஆம்பியர் அளவுள்ள இரு இணை மின்னேட்டங்களிடையே ஒரு சென்டிமீட்டர் நீளத்திற்கு செயற் படும் விசை என்ன?

சமன் 8-6-ல் $I_1 = I_2 = c/10$ ஸ்டேட் ஆம்பியர்; $l_2 = r = 1$ செ.மீ இம்மதிப்புக்களையும் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$F_2 = \frac{c/10}{c} \times \frac{2\ (c/10)}{c} = 0{\cdot}02 \text{ டைன்.}$$

8-3 காந்தப்புலம்

இல்லாத மற்றொரு மின்னேட்டத்தின் மீது விசை.

காந்தப்புலம் என்பது மின்புலத்தைப் போன்ற ஒன்ருகும். அது கணக்கீடுகளை எளிதாக்குவதற்காகவும் கருத்துக்களை எளிதில் புரிந்துகொள்ளச் செய்வதற்காகவும் உருவாக்கப்பட்ட கணித வியல் வரையறையாகும். முதன் முதலில் காந்தப்புலம் என்பது ஓரலகு காந்தத் துருவத்தின்மீது செயற்படும் விசை என வரை யறுக்கப்பட்டது. எனினும் தனித்த காந்தத் துருவங்கள் உண்மை யிலேயே கிடையா என்றும் அத்தகைய காந்த விசைகள் யாவும் மின்னேட்டங்களிடையேயுள்ள விசைகளே என்றும் இப்பொழுது

அறியப்பட்டுள்ளன. பின்வரும் பகுதியில் காந்த நிகழ்ச்சிகளை தனித்த காந்தத் துருவங்கள் அல்லது காந்த ஊட்டங்கள் என்னும் பௌதிகவியல் சாராத (non physical) (ஆனால் கணிதவியல் இணை மாற்றுக்—mathematically equivalent) கருத்துக்களின் அடிப்படை யிலன்றி மின்னோட்டங்களிடையேயான விசைகள் எனக் கருதி அவற்றை முறையாக அணுகுவோம். எனினும் காந்தவியல் கோட்பாட்டைப் பற்றியும் பிரிவு, 8-6ல் காணலாம்.

மின் புலமானது ஓரலகு மின்னூட்டத்திற்குரிய விசையென வரையறுக்கப்படுவதால் நம் கருத்திற்கிணங்க காந்தப்புலம் B-ஆனது ஓரலகு மின்னோட்ட நீளத்திற்குரிய (unit current element) விசை என வரையறுக்கலாம். l_2 நீளத்திற்குள்ள I_2 மின்னோட்டத்தின் மீதான விசை l-ம் B-ம் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாயிருக்கும்போது,

$$F_2 = \frac{I_2 l_2}{c} \times B \tag{8-7}$$

$$\text{அல்லது } B = \frac{F^2}{\frac{I_2 l_2}{c}}$$

B-ன் திசையைப்பொறுத்து F வெக்டாரின் திசையைப்பற்றி அடுத்த பிரிவில் கூறப்பட்டுள்ளது. காந்தப் புலத்திற்கான இந்த வரை யறையிலிருந்து சமன்பாடுகள் 8-7, 8-6 ஆகியவற்றின் வலப்புறங் களைச் சமனிடுவதன் மூலம் I_1 என்ற மின்னோட்டத்தைத் தாங்கும் நீண்ட கம்பி ஒன்றினால் விளையும் B-ன் மதிப்பைப் பெறலாம்.

$$\frac{I_2\, l_2}{c} \times B = \frac{I_2\, l_2}{c} \times \frac{2\, I_1}{cr}$$

I_1 என்ற மின்னோட்டத்தைத் தாங்கும் முடிவிலாக் கம்பி ஒன்றினால் விளையும் காந்தப்புலம்

$$B = \frac{2}{r}\left(\frac{I_1}{c}\right) \tag{8-8}$$

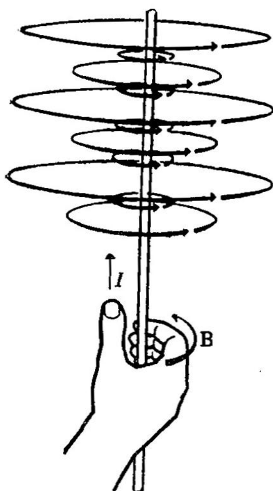
மேற்கண்ட தொடர்பு மின்னோட்டத்தைத் தாங்கும் முடிவிலாக் கம்பி ஒன்றினால் விளையும் மின்புலத்திற்கான தொடர்பை ஒத் திருப்பதைக் காணலாம். எனவே $E=(2/r)\,\rho$. சமன் 8-7-லிருந்து B ஆனது E-க்குள்ள டைன்/ஸ்டேட் கூலம் என்ற அதே அலகினைக் கொண்டுள்ளது என்பதனை அறியலாம். CGS முறையில் B-ன் அலகுக்கு காஸ் (Gauss) என்ற ஒரு தனிப்பெயர் வழங்கப் பட்டுள்ளது*.

*சரியாகக் கூறுமிடத்து B என்பது காந்தத் தூண்டுதலாகும். எனினும் வெற்றிடத்தில் (அல்லது காற்றில்) காந்தப்புலம் B-க்குச் சமமாகும். இந்நூலில் நாம் வெற்றிடத்திலுள்ள காந்தப்புலத்தையே கருதுவோம்.

கிறது. B, E ஆகியவற்றையும் அவற்றிற்கிடையேயுள்ள தக வையும் காண்க.

சமன் 8-3-ன்படி $I = \rho v$. எனவே $B = 2\rho v/rc$. சமன் 7-10-ன் படி $E = 2\rho/r$. தகவு $B/E = v/c$

வலக்கை விதி I



படம் 8-3

வலக்கை விதி I-ம் நீண்ட நேரான மின்னோட்டம் ஒன்றினால் விளையும் B-ன் கோடுகள்.

இதுவரை, நீண்ட மின்னோட்டக் கோடு ஒன்றின் பயனாய் விளையும் B-ன் எண் மதிப்பைப் பற்றி வரையறுத்தோம். B என்பது ஒரு வெக்டர் ஆதலால் அதனுடைய திசையையும் வரையறுக்க வேண்டும். B-ன் திசையை காந்தவிசைச் செயற்படும் திசையைக் கொண்டு மதிப்பிடலாம் (பார்க்க பிரிவு 8-4). B-ன் கோடுகள், அவற்றை உருவாக்கும் மின்னோட்டத்தைப் படம் 8-3-ல் காட்டியுள்ளவாறு சுற்றிச் செல்லும் வகையில் B-ன் திசையானது அமைந்துள்ளது. அக்கோடுகளின் மீது அமைந்த அம்புக்குறிகள் காட்டும் திசை மனப்போக்கானதே. இத்திசையை அறிவதற்குப் பயன்படும் மரபு இந்நூலில் வலக்கை விதி I என அழைக்கப்படும். படம் 8-3-ல் காட்டியுள்ளவாறு மூடிய வலக்கையின் பெருவிரலானது மின்னோட்டத்தின் திசையைச் சுட்டுமாயின் எஞ்சிய நான்கு விரல்களும் B-ன் கோடுகளின் திசையைச் சுட்டும். B-ன் திசைக்கான இவ்விதியானது மின்னோட்டத்திற்கு அருகில் வைக்கப்பட்ட காந்த ஊசியின் திசைக்கும் பொருந்துகிறது. காட்டாக, காந்த ஊசியானது அதன் வட துருவம் B-ன் நேர்த்திசை (positive direction) யை நோக்குமாறு B-ன் திசைக்கிணையாக அமையும். முதலில் ஒரு கம்பியை நோக்குமாறு அமைந்த ஒரு காந்த ஊசியானது கம்பியில் மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தியவுடன் திடீரென $90°$ திரும்பும். இரும்புத்துகள்களும் காந்தப் புலத்தின் வழியே குவிய முயற்சிக்கும். மின்னோட்டந் தாங்கும் கம்பி ஒன்றினால் விளையும் காந்தப்புலம் விளைவிக்கும் இரும்புத் துகள்களின் பாங்கத்தைப் (pattern) படம் 8-4-ல் காணலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு

படம் 8-5-ல் ஒரு காந்த ஊசியானது 0.2 காஸ் அளவுள்ள புவிக்காந்தபுலத்தின் (**Earth's magnetic field**) காரணமாய் வட திசையை நோக்குகிறது. தெற்கு வடக்காக அமைந்த நீண்ட கம்பி ஒன்று அதற்கு மேலாக 4 செ.மீ தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கம்பி வழியே மின்னோட்டம் விளையும்பொழுது காந்த ஊசி வடதிசை நோக்குவதற்குப் பதில் வடகிழக்கை நோக்குகிறது. மின்னோட்டத்தின் திசை எண்மதிப்பு ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

(காந்த் ஊசியின் திசையில்) தொகுபயன்புலம் x அச்சுடன் $45°$ கோணத்தை அமைப்பதால் அதன் x, y ஆக்கக்கூறுகள் சமமாயிருக்க வேண்டும். எனவே $B_x = B_y$. $B_y = 0\cdot 2$ காஸ் = புவிக் காந்தப்புலம். சமன் 8-8-ன்படி $B_x = 2I/Cr$. எனவே

$$B_y = \frac{2I}{cr} \; 0.2 \text{ காஸ்}$$

$I = 0.1\ cr$ ஸ்டேட் ஆம்பியர்
$= 0.1 \times 3 \times 10^{10} \times 4$ ஸ்டேட் ஆம்பியர்
$= 1.2 \times 10^{10}$ ஸ்டேட் ஆம்பியர்
$= 4$ ஆம்பியர்

வலக்கை விதி I-ன்-படி மின்னோட்டமானது தென்திசை நோக்கிப் பாய வேண்டும்.

8-4 ஒரு மின்னோட்டத்தின் மீதான விசை

யாவும் நேர்குத்து மயமே

சமன் 8.7-ல் B என்ற காந்தப்புலத்தின் அமைந்த l நீளத்திற்குள்ள I என்ற மின்னோட்டத்தின் மீதான விசையானது l-ம், B-ம் நேர்குத்தா யிருக்கும்போது

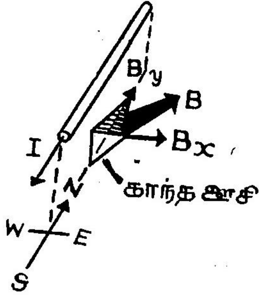
$$F = \frac{Il}{c} \times B \text{ டைன்கள்}$$

என்னும் வகையில் B வரையறுக்கப்பட்டது. l-க்கும் B-க்கும் இடையேயான கோணம் வேறு ஏதாகிலு மிருப்பின் சமன் 8.9-ன் வலப்



படம் 8-4

நீண்ட நேரான கம்பி ஒன்றினல் விளையும் காந்தப் புலத்தில் விசைக் கோடுகளின் பாங்கத்தை விளக்கப் பயன்படும் இரும்புத் துகள்களின் படம். ஒவ்வொரு இரும்புத் துகள்களும் ஒரு சிறு காந்தமாகச் செயற்பட்டு B-ன் திசையில் அமைகிறது. (நன்றி: இயற்பியல் ஆய்வுக்குழு.)



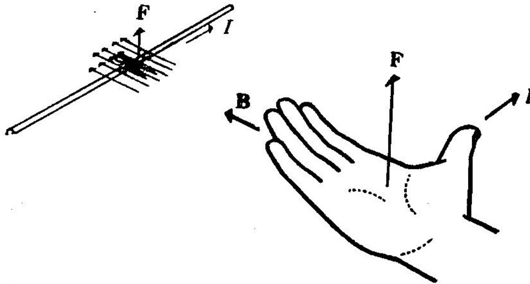
படம் 8-5

காந்த ஊசி ஒன்றின் மேலாக அமைந்த மின்னோட்டத்தின் விளைவு. மின்னோட்டம் நிகழுமுன் காந்த ஊசி படத்தில் காட்டியவாறு அமைந்துள்ளது. மின்னோட்டம் பாய்ச்சியவுடன் அது *B* எனக் குறிக்கப்பட்ட திசையை நோக்கும்.

புறத்தை அக்கோணத்தின் சைனால் பெருக்குவதன் மூலம் மின்னோட்டத்தின் மீதான விசைக்குரிய பொதுவானத் தொடர்பைப் பெறலாம்.

வலக்கை விதி II

மேற்கண்ட சமன்பாடு *F*-ன் எண் மதிப்பை மட்டுமே நமக்கு அளிக்கிறது. அதன் திசையைக் காண்பதற்கான விதியும் நமக்குத் தேவைப்படுகிறது. இணை மின்னோட்டங்களுக்கு *F*-ஆனது *B*-க்கு நேர்குத்தாயமைய வேண்டும் என்பதை நாமறிவோம். உண்மையில் மின்னோட்டங்கள் மனப்போக்காயமைந்த பொதுவான அமைப்பில் *F*-ஆனது *B*-க்கும் *I*-க்கும் நேர்குத்தாயமைய வேண்டும். *F*-ன் திசையைக் காண உதவும் விதி இந்நூலில் வலக்கை விதி *II* என அழைக்கப்படும். படம் 8.6-ல் விளக்கப்பட்டுள்ள இவ்விதியில் விரித்து நீட்டப்பட்ட வலக்கையின் பெருவிரல் *I*-ன் திசையையும் மற்ற விரல்கள் *B*-ன் திசையையும் சுட்டுமாயின் உள்ளங்கை *F*-ன் திசையை நோக்கும்.



படம் 8-6

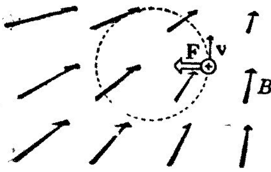
காந்தப்புலம் (*B*) ஒன்றில் மின்னோட்டம் (*I*) ஒன்றில் மீதான விசை (*F*) யைக் காண்பதற்குப் பயன்படும் வலக்கை விதி *II*.

மறதிப் பேராசிரியர் ஒருவர் அவரது வலது கையை மறப் பாரேயாயின் அதனைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு இவ்விதிகள் வழி கோலும் என முதல் நோக்கில் நமக்குத் தோன்றும். ஒரு மின்னோட்டத்தின் மீதான விசையை அளவிட்டு எந்தக்கை சரியான விடையைத் தருகிறது எனச் சரி பார்ப்பதன் மூலம் அவரது வலது கையைக் கண்டுபிடிக்க முடியும் என ஒருவர் எண்ணலாம். எனினும் இதனைச் செய்வதற்கு B-ன் திசையை அவர் அறிய வேண்டும் (இதற்கும் எது வலது கை என அறிய வேண்டும்). பேராசிரியர் தவறுதலாக $1, II$ ஆகிய இரு விதிகளுக்கும் அவரது இடது கையைப் பயன்படுத்துவாராயினும் F-ன் சரியான திசையைக் காணலாம். இவ்வாறாக, மின்சார நிகழ்ச்சிகள் வலத்திலிருந்து இடத்தைப் பிரித்தறிவதற்கான வழியேதும் அளிப்பதில்லை. மின்சாரச் சோதனை ஒன்றின் ஆடிப்பிம்பச் சோதனையும் இணை மாற்றுச் சோதனையாகும். 1956ஆம் ஆண்டுவரை வலத்திலிருந்து இடத்தைப் பிரித்தறியக்கூடிய சோதனை எதுவும் இருக்க முடியாது எனப் பல பௌதிகர்கள் (physicists) உறுதியாக நம்பினார்கள். இந்த ஒப்புநிலைக் கோட்பாடு (symmetry principle) ஒப்புமை அழிவின்மை (conservation of parity) எனப்படுகிறது. இது 182ஆம் பக்கத்தில் குறிப்பிடப்பட்டுள்ள ஏனைய ஐந்து அழிவின்மை விதிகளைப்போல உறுதியானது என நம்பப்பட்டது. 1957-ல் ஒப்புமை அழிவின்மை விதியை ஐயப்பாட்டிற்குரிய தாக்கக்கூடிய அடிப்படைப் பௌதிக நிகழ்ச்சிகள் கண்டுபிடிக்கப் பட்டன. எனவே மறதிப் பேராசிரியர் தனது வலது கையை அறிவதற்குரிய பல வழிகளை இறுதியாகக் கற்றறிந்தார்

இயங்கும் மின்னூட்டத்தின் மீதான விசை

காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்னோட்டந் தாங்கிய கடத்தி ஒன்றின் மீது ஒரு விசைச் செயற்படுமாயின் B என்ற புலத்தில் இயங்கும் மின்னூட்டம் ஒன்றின்மீதும் ஒரு விசைச் செயற்பட வேண்டும். சமன் 8-3-ன்படி v என்ற திசைவேகத்துடன் ஒரு கோட்டின் வழியே இயங்கும் ρ ஸ்டேட்கூலம்/செ.மீ என்ற மின்னூட்டமானது $\rho v = I$ என்ற மின்னோட்டமாகும். இருபுறமும் lஆல் பெருக்க $\rho v l = Il$ ஆகும். ஆனால் ρl என்பது l நீளத்தி லுள்ள மொத்த மின்னூட்டமாகும். இந்த மின்னூட்டத்தை q எனக் கொள்வோமாயின் $Il = qv$. சமன் 8-9-ன் வலப்புறத்தில் Il-ன் இம்மதிப்பைப் பதிலீடு செய்வோமாயின், v-ம் B-ம் நேர்குத்தா யிருக்கும்போது

$$F = \frac{qv}{c} \times B \qquad (8\text{-}10)$$



படம் 8-7

சீரான காந்தப் புலத்திற்கு நேர்குத்தாக இயங்கும் மின்னூட்டத் துகளின் பாதை.

மாதிரிக் கணக்கு

$B = 10{,}000$ காஸ் என்ற சீரான காந்தப்புலம் ஒன்றில் அதற்கு நேர் குத்துத் திசையில் $v = 10^8$ செ.மீ/வி என்றதிசைவேகத்துடன் ஒரு புரோட்டான் படம் 8-7-ல் காட்டியுள்ள வாறு இயங்குகிறது.

(*a*) புரோட்டானின் மீது செயற்படும் விசையின் எண்மதிப்பு, திசை ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக. (*b*) புரோட்டானின் பாதையைப் பெறுக.

சமன் 8-10-ன்படி

$$F = \frac{evB}{c} = \frac{4.8 \times 10^{-10} \times 10^8 \times 10^4}{3 \times 10^{10}} \; 1.6 \times 10^8 \text{ டைன்}$$

வலக்கை விதி II-ன்படி இவ்விசையானது படம் 8-7-ல் இடப் பக்கம் நோக்கியிருப்பதோடு v-க்கு எப்போதும் நேர்குத்தாக அமையும். இவ்வாறாக F என்பது புரோட்டானை எப்பொழுதும் R ஆரமுடைய அதே வட்டத்தில் இயக்கும் மையநோக்கு விசை யாகும். மையநோக்கு விசையைக் காந்த விசைக்கு சமனிடுவதன் மூலம் R-க்கான கோவையைப் பெறலாம்.

$$m\frac{v^2}{R} = \frac{evB}{c}$$

$$R = \frac{mvc}{eB} \qquad (8\text{-}11)$$

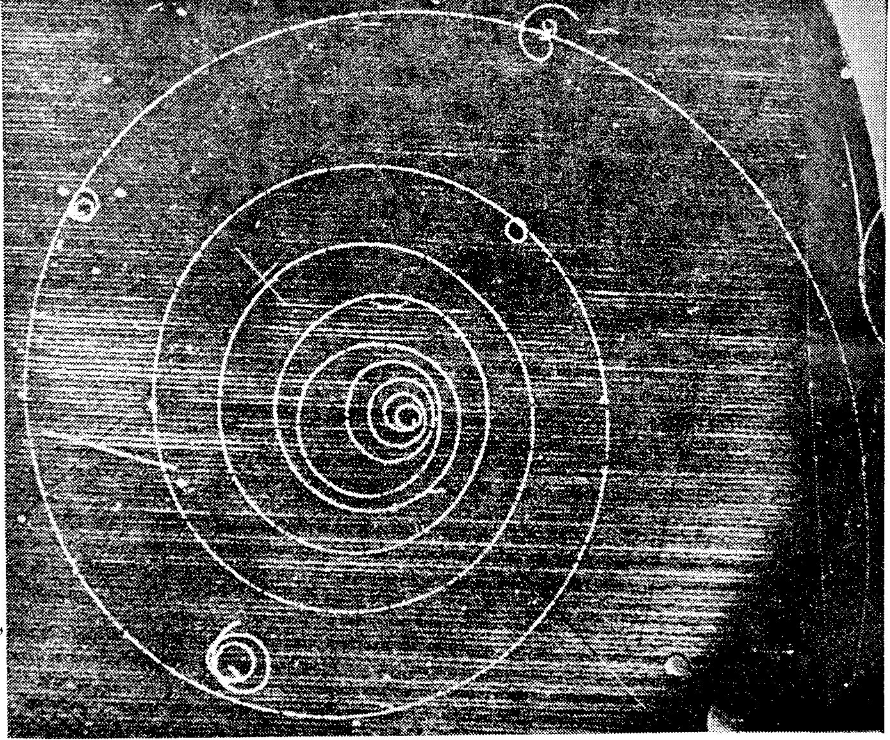
நாம் எடுத்துக் கொண்ட கணக்கில் புரோட்டானின் நிறை $m = 1.67 \times 10^{-24}$ கி. எனவே

$$R = \frac{1.67 \times 10^{24} \times 10^8 \times 3 \times 10^{10}}{4{\cdot}8 \times 10^{-10} \times 10^4} \text{ செமீ}$$

அல்லது $R = 1.04$ செ.மீ.

படம் 8-8 படத்திற்கு வெளிப்புறம் நோக்கும் சீரான காந்தம் புலம் ஒன்றில் இயங்கும் எலெக்ட்ரானின் பாதையைக் காட்டுப்

நிழற்படமாகும். எலெக்ட்ரான் திரவ ஹைடிரஜன் குமிழ்க் கலத்தினுள் இயங்குவதால் வட்டத்தின் ஆரம் தொடர்ந்து குறைகிறது. எலெக்ட்ரானோ அல்லது வேறு ஒரு மின் துகளோ பருப்



படம் 8.8.

திரவ ஹைடிரஜன் குமிழ்க்கலத்தினுள் எலெக்ட்ரானின் பாதை. படத்திற்கு வெளிப்புறம் நோக்கும் காந்தப்புலத்தின் பயனாய் பாதை வளைந்துள்ளது. திரவ ஹைடிரஜன் எலெக்ரான்களின் வேகத்தைக் குறைப்பதால் வளைவு ஆரம் குறைகிறது. (நன்றி: ஆல்வாரிஸ்குழு, லாரென்ஸ் கதிர்வீச்சு ஆய்வுக்கூடம், கலி∴போர்னியா பல்கலைக் கழகம்).

பொருளின் வழி செல்லும்பொழுது தொடர்ந்து ஆற்றலை இழக்கிறது. B-ன் மதிப்பை அறிவோமாதலால் எலெக்ட்ரானின் பாதையில் எந்தப் புள்ளியிலும் வளைவு ஆரத்தை அளவிடுவதன் மூலம் அப்புள்ளியில் அதன் உந்தத்தை மதிப்பிடலாம்.

மேற்கண்ட கணக்கிலிருந்தும் நிழற் படத்திலிருந்தும் காந்தப் புலத்தின் உதவியால் மின்துகள்களுக்கு ஒரு 'பொறி' (trap) அமைக்கலாம் என்பதைக் காணலாம். இத் தத்துவமானது காந்தங்களைப் பயன்படுத்தும் மிக்காற்றல் துகள் முடுக்கிகளில் (high energy particle accelerator) பயன்படுத்தப்படுகிறது. அத்தகைய முடுக்கி ஒன்றில் காந்தமானது துகள் கற்றையை ஒரு வட்டத்தில் இயக்கக்கூடிய காந்தப்புலத்தை அளிக்கிறது.

8-5 ஆம்பியர் விதி

B-ஐப் பெறுவது எப்படி

நிலை மின்னியலில் கோளங்கள், உருளைகள், தளங்கள் ஆகிய வற்றின்மீது சீராகப் பரவியுள்ள மின்னூட்டத்தின் பயனுய் விளையும் மின் புலத்தைக் கணக்கிட முடிந்தது. அவ்வாறே, முடிவிலா நேரான மின்னோட்டமன்றி (சமன் 8-8) மற்றெந்த வடிவங்களிலும் அமைந்த மின்னோட்டங்களால் விளையும் காந்தப் புலத்தை மதிப்பிடுவதற்குரிய ஒரு முறையும் நமக்குத் தேவைப் படுகிறது. எந்த வடிவ அமைப்பையும்கொண்ட மின்னோட்டத் திஞல் விளையும் காந்தப் புலங்களைக் கணக்கிடுவதற்கு நமக்கு உதவும் வகையில் B-க்கான ஒரு பொதுச் சமன்பாடும் உள்ளது. இச் சமன்பாட்டில் மின்னோட்டத்தைச் சுற்றி ஒரு மூடப்பட்ட பாதையைக் கருதுகிறோம். அச்சமன்பாட்டின்படி அப்பாதையின் வழியே B-ன் ஆக்கக்கூறின் சராசரி மதிப்பு, பாதையின் நீளம் L-ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனுனது அப்பாதையினுள் அமைந்த மொத்த மின்னோட்டத்தைப்போல் $4\pi/c$ மடங்காகும். அச் சமன்பாடு

$$(\bar{B}_L \cdot L)_{\text{மூடப்பட்டபாதை}} = \frac{4\pi I}{c} \qquad (8\text{-}12)$$

I என்பது பாதையினுள் அமைந்த மின்னோட்டம்.*

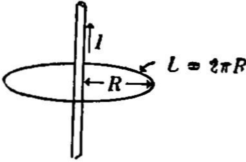
* ஆம்பியர் விதியை

$$\sum_i B_i \cdot L_i = \frac{4\pi I}{c}$$

என்றும் எழுதலாம் என்பதைச் சமன் 8-13-லிருந்து காணப் பெறலாம். கூட்டுக்குறி Σ

$$\sum_i B_i \cdot L_i = B_1 L_1 + B_2 L_2 + \ldots + B_N L_N$$

என்பதைக் குறிக்கிறது. முழுப்பாதை L-ஆனது L_1, L_2 . . . L_N எனச் சிறு நீளங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது.

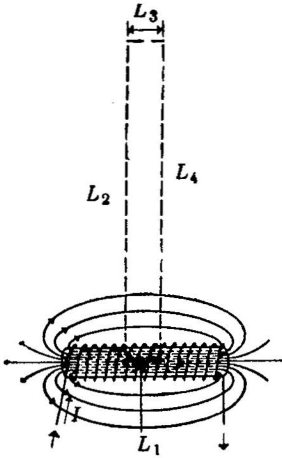


படம் 8-9

I என்ற மின்னேட்டத்தைச் சுற்றி $2\pi R$ நீளமுள்ள மூடப்பட்டபாதை.

முதலில் இப்புதிய சமன்பாட்டை முடிவிலா நீளமுள்ள மின்னேட்டத்தால் விளையும் B-யின் மதிப்பைக்கொண்டு சரி பார்ப்போம். படம் 8-9-ல் R ஆரமுள்ள ஒரு வட்டத்தை மின்னேட்டத்தைச் சுற்றியமைந்த ஒரு மூடப்பட்ட பாதையாகக் கருதுவோமாயின் $L = 2\pi R$, $B = 2I/cR$ (சமன் 8-8) ஆகும். இங்கு $B_L \cdot L = 2I/cR \cdot 2\pi R = 4\pi I/c$. இது சமன் 8-12-ன் வலப்புறத்தைக் குறிப்பதைக் காணலாம். மேலும் B-ன் கோடுகள் தொடர்ச்சியானவையாய் இருக்கவேண்டும் எனவும் நிறுவலாம். காந்தத் துருவங்களோ அல்லது மின்னூட்டங்களோ இயற்கையில் தனித்து இருப்பதில்லையாதலால் B-ன் கோடுகள் ஒருபோதும் ஒரு புள்ளியிலிருந்து புறப்படவோ அல்லது ஒரு புள்ளியில் முடிவுறவோ முடியாது; அவை மூடப்பட்ட பாதைகளை அமைக்கின்றன.

வரிச்சுருள் (Solenoid)



படம் 8-10

வரிச்சுருள். வரிச் சுருளினுள் B-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட செவ்வக வடிவில் அமைந்த மூடப்பட்டபாதை பயன்படுத்தப் படுகிறது.

அடுத்து ஆம்பியர் விதியை வரிச்சுருளுக்குப் பயன்படுத்துவோம். வரிச்சுருள் என்பது சென்டிமீட்டருக்கு n சுற்றுக்கள் வீதம் உருளை வடிவில் சுற்றப்பட்ட கம்பிச்சுருள் ஆகும். வரிச்சுருள் ஒன்று விளைவிக்கும் B-ன் கோடுகளைப் படம் 8-10-ல் காணலாம். மூடப்பட்ட பாதையைக் குறிக்கும் வகையில் படத்தில் காட்டியவாறு அமைந்த செவ்வகத்தைக் கருதுவோம். செவ்வகத்தின் மறுமுனை B-ன் வலிமை மிகவும் குறைந்த பகுதியில் இருக்குமாறு L_2, L_4 ஆகியவை மிகவும் நீளமாக அமைக்கப்படுகின்றன. ஆம்பியர் விதியில் உள்ள $\overline{B_L}$ என்பது மூடப்பட்ட பாதை வழியே உள்ள B_L-ன் எடையிட்ட சராசரியாகும். எடையிட்ட சராசரியின் வரையறை பக்கம் 27-ப்படி

$$\overline{B_L} = \frac{B_1L_1 + B_2L_2 + B_3L_3 + B_4L_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4} \qquad (8\text{-}13)$$

காந்தப் புலமானது L_2, L_4 ஆகியவற்றிற்கு நேர்குத்துத் திசையி லுள்ளதால் L_2, L_4 ஆகியவற்றின் வழியே காந்தப்புலத்தின் ஆக்கக் கூறுகள் (B_2, B_4) சுழியாகும். மேலும் B_3 ஆனது வரிச் சுருளிலிருந்து மிகத் தொலைவிலுள்ளதால் அதுவும் ஏறத்தாழ சுழியாகும். எனவே சமன் 8-13-ன்படி

$$\overline{B_L} = \frac{B_1L_1 + 0 + 0 + 0}{L}$$

அல்லது $\overline{B_L} \cdot L = B_1L_1$ (8-14)

மூடப்பட்ட பாதையினுள் அமைந்த மொத்த மின்னோட்டமானது பாதையினுள் அமைந்த சுற்றெண்ணிக்கையான nL_1 மடங்கு (வரிச்சுருளின் வழி) மின்னோட்டமாகும். எனவே சமன் 8.12-ன் வலப்புறம் $4\pi\ n\ L_1/c$ ஆகும். இதனைச் சமன் 8-14-ன் வலப்புறத் திற்குச் சமனிடுவோமாயின்

$$B_1L_1 = \frac{4\pi InL_1}{c}$$

அல்லது வரிச்சுருளினுள்

$$B = \frac{4\pi nI}{c} \qquad (8\text{-}15)$$

நமது கணக்கீடு L_1 ஆனது வரிச்சுருளின் எப்பக்கம் உள்ளது என் பதைப் பொறுத்திருக்கவில்லை என்பதை நோக்கலாம். எனவே வரிச்சுருளினுள் எப்புள்ளியிலும் B-ன் மதிப்பு ஒரே அளவா யிருக்கும். ஆகவே வரிச்சுருளின் பரப்பு A எனில் வரிச்சுருள் விளை விக்கும் மொத்த B கோடுகள் (lines of B) $B_1 \cdot A$ ஆகும். அள வியலாக B கோடுகள் E கோடுகள் வரையறுக்கப்படும் அதே முறையில் வரையறுக்கப்படுகின்றன. புலம் B ஆனது ஓரலகுப் பரப்பில் அமைந்த B கோடுகளின் எண்ணிக்கையாகும் ($B = N_B/A$) எனவே வரிச்சுருள் ஒன்று விளைவிக்கும் B கோடுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை

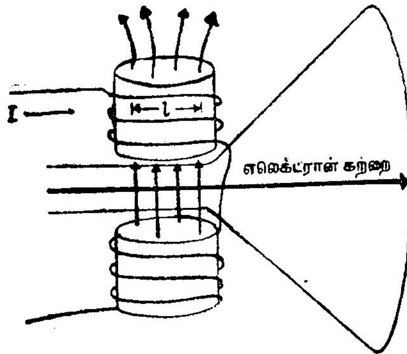
$$N_B = \frac{4\pi nIA}{c} \text{ கோடுகள்} \qquad (8\text{-}16)$$

ஆகும். B கோடுகளின் மொத்தக் காந்தப் பாயம் (total magnetic flux) எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு

T V படக்குழாய் ஒன்றில் எலெக்ட்ரான் கற்றையை கிடைத் தள விலக்குக்குள்ளாக்கும் இரு சுருள்கள் படத்தில் காட்டியவாறு சுற்றப்பட்டுள்ளன. (திரையை நோக்குகையில்) அதில் ஒளிப்

புள்ளி வலப்பக்கம் இயங்கவேண்டுமாயின் மேலே உள்ள சுருளில் மின்னோட்டத்தின் திசை என்ன ?



படம் 8-11

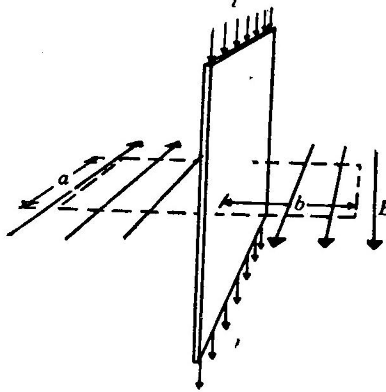
டெலிவிஷன் படக்குழாயின் கிடைத்தள விலக்குச் சுருள்களைக் காட்டும் பக்கத் தோற்றம்.

இக் கணக்கு வலக்கை விதிகளைப் பயன்படுத்துவதற்கான ஒரு பயிற்சியாகும். முதலில் *B*-ன் திசையை அறிய வலக்கை விதி II-ஐப் பயன்படுத்த வேண்டும், இவ்விதியைப் பயன்படுத்தும் பொழுது எலெக்ட்ரான் இடமிருந்து வலமாக இயங்கினாலும் படம் 8-11-ல் மின்னோட்டக் கற்றையானது இடப்பக்கம் நோக்கியிருக்கிறது என்பதை மனதிலிருத்த வேண்டும். இம் மின்னோட்டத்தின் மீதான விசை படத்திற்கு உட்புறம் நோக்கவேண்டியுள்ளது. II-வது விதியைப் பயன்படுத்தும்பொழுது பெருவிரல் (I) இடது புறமும் உள்ளங்கை (F) படத்திற்கு உட்புறமும் நோக்கவேண்டும். இப்பொழுது விரல்கள் (B) மேல் நோக்கும், இனி மின்னோட்ட நீளம் *l*-ன் மீது வலக்கை விதி *I*-ஐப் பயன்படுத்துவோம். *l*-ன் வழி மின்னோட்டத்தை (*I*)க் குறிக்கும் பெருவிரல் வலப்பக்கம் நோக்குமாயின் கம்பிச் சுருளினுள் (*B*)ஐக் குறிக்கும் விரல்கள், நமக்குத் தேவையான, மேல்நோக்கிய திசையை நோக்கும். எனவே, *l*-ன் வழியே மின்னோட்டம் வலப்பக்கம் நோக்கி அமைய வேண்டும். எனவே மின்னோட்டமானது மேலே உள்ள சுருளில் நுழைந்து கீழ்ச்சுருளை விட்டு வெளியேறவேண்டும் என்பதே நம் கணக்குக்குரிய விடையாகும்.

ஒரு தளத்தில் அமைந்த மின்னோட்டம் விளைவிக்கும் காந்தப்புலம்

இறுதியாக, வரம்பிலா மின்னோட்டத்தளம் ஒன்று விளைவிக்கும் காந்தப்புலத்தை மதிப்பிட ஆம்பியர் விதியைப் பயன்படுத்துவோம், படம் 8-12 மின்னோட்டமானது கீழ்நோக்கிப் பாயும்

வரம்பிலா தளத்தின் செவ்வகப் பகுதியைக் காட்டுகிறது. இத்தகைய நிலை ஒரு உலோகத் தகட்டின் வழியே மின்னேட்டம் பாய்வதை ஏறத்தாழ ஒத்துள்ளது. தளத்தின் வழியே செல்லும் மின்



படம் 8-12.

மின்னேட்டங் கடத்தும் பரப்பு ஒன்றின் வழியே கீழ் நோக்கிப் பாயும் மின்னேட்டத்தினல் விளையும் காந்தப்புலம்.

னேட்டம் ஒரு கிடைத்தள சென்டிமீட்டருக்கு (horizontal centimetre) i ஆம்பியர் எனக் கொள்வோம். a, $2b$ ஆகிய பக்கங்களைக் கொண்ட, ia என்ற மின்னேட்டத்தை உள்ளடக்கிய ஒரு செவ்வகத்தைக் கருதுவோம். தளமானது வரம்பிலியாதலால் B-ன் கோடுகள் படத்தில் காட்டியுள்ளது போல் கிடைமட்டமாக அமையவேண்டும். B-ஆனது $2b$ நீளமுள்ள பக்கங்களுக்கு நேர் குத்தாயிருப்பதால் மூடப்பட்ட பாதையில் $\overline{B_L}$-க்கான கணக்கீட்டில் $2b$ நீளமுள்ள பக்கங்களின் விளைவு சுழியாகும்,

$$\text{எனவே } \overline{B_L} = \frac{B \cdot a + 0 + B \cdot a + 0}{a + 2b + a + 2b}$$

$$= \frac{2Ba}{L}$$

$$\text{எனவே } \overline{B_L} \cdot L = 2Ba$$

பாதையினுள் அமைந்த மின்னேட்டம் $I = ia$ ஆதலால் சமன் 8-12-ஐ.

$$2Ba = \frac{4\pi ia}{c}$$

என எழுதலாம்.

$$\text{எனவே } B = 2\pi \left(\frac{i}{c}\right) \qquad (8\text{-}17)$$

மின்னூட்டத் தளம் ஒன்றினல் விளையும் மின்புலத்திற்கான வாய்பாட்டை ($E = 2\pi\sigma$) இது ஒத்திருப்பதைக் காணலாம்.

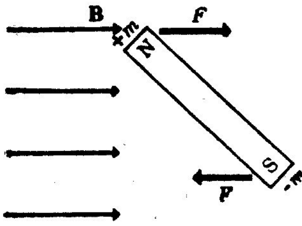
8-6 காந்தவியல் கொள்கை* (Theory of Magnetism)

சாகாத சிறு மின்னோட்ட வளையங்கள்

முற்கால மனிதன் சில காந்த மற்றும் நிலைமின்னியல் நிகழ்ச்சிகளை அறிந்திருந்தான். வழி காட்டும் கற்கள் (Load stones) என அழைக்கப்படும் இயற்கையில் கிடைக்கும் இரும்புத் தாதுக்கள் காந்தக் கற்களாய் அமைந்து ஃபெரோ காந்தப் பொருட்களைக் கவருகின்றன. பண்டைக்கால கிரேக்கர்கள் காந்த விசையும் நிலைமின் விசையும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடையன என எண்ணினர். எனினும் பதினாரும் நூற்றாண்டளவில் மெய்யுணர்விகள் இயற்கையைப் பற்றிய விதிகளை வெறும் சிந்தனையின் அடிப்படையில் முடிவு செய்வதற்கு மாருக சோதனைகளின் அடிப்படையில் அமைக்க முற்பட்டார்கள். அதன் பயனாய் அவர்கள் காந்த விளைவுகள் நிலைமின்சார விளைவுகள் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்பிலாத தனித்த நிகழ்ச்சிகள் என்ற முடிவுக்கு வந்தனர். ஒரு மின்னூட்டம் பெற்ற பொருளுக்கும் காந்தத்திற்கும் இடையே எந்தவித விசையையும் யாராலும் காண முடியவில்லை. இயங்கும் மின்னூட்டம் ஒன்றிற்கும் காந்தத்திற்கும் இடையே ஒரு விசைச் செயற்படுகிறது என்பதை 1820ஆம் ஆண்டு ஹான்ஸ் கிறிஸ்டியன் ஓர்ஸ்ட்டெட் (Hans Christian Oersted) என்ற ஹாலந்து நாட்டு பௌதிக ஆசிரியர் ஒருவர் தற்செயலாகக் கண்டுபிடித்தார். இவ்விசையைப் பற்றிய ஒரு சொற்பொழிவின் முடிவில் மின்சாரத்திற்கும் காந்தத்திற்கும் இடையே எவ்விதத் தொடர்பும் இல்லை என்பதை விளக்குவதற்காக ஒரு காந்த ஊசிக்கு அருகில் வைக்கப்பட்ட கம்பி ஒன்றின் வழியே ஒரு மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தினர். "காந்த ஊசி பெருமளவு அலைவுற்றதைக் கண்டு திகைப்புற்று நின்ருர்" என அப்போதைய அவரது நிலையை அவரது மாணக்கருள் ஒருவர் கூறுகிருர். இவ்வாருக, காந்தப் பண்பும் மின்சாரமும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடையன என்ற பண்டைய சித்தாந்தம் (ancient doctrine) திடீரெனப் புத்துயிர் பெற்றது.

மின்னோட்டங்களுக் கிடையேயான விசைகளின் அடிப்படையில் காந்தங்களின் இயக்க முறைகளுக்கு விளக்கம் கூறுவதே இப்பகுதியின் நோக்கமாகும். சீரான புறக் காந்தப்புலம் ஒன்றில் வைக்கப்பட்ட ஒரு காந்தக்கட்டை எவ்வாறு செயற்படுகிறது?

* விரும்பினல் இப்பகுதியை விட்டுவிடலாம். பின் வருவன யாவும் இதைச் சார்ந்ததல்ல.



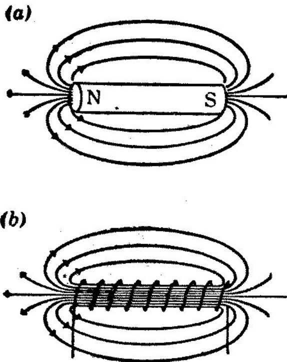
படம் 8-13

சீரான காந்தப்புலத்திலுள்ள ஒரு காந்தக் கட்டையின் மீதான விசைகள்.

பிரிவு 8-4-ல் கூறியபடி அதனைப் புலத்தின் திசைக்குக் கொணர முயற்சிக்கும் திருப்புவிசை ஒன்று அதன்மீது செயற்படும் (படம் 8.13). தொடக்கத்தில் பௌதிகர் கள் காந்தக்கட்டையில் வடமுனை யில் $+m$ வலிமையும் தென்முனை யில்—m வலிமையும் கொண்ட இரு துருவங்கள் உள்ளனவென்றும் காந்தத் துருவத்தின் மீதான விசை

$$F=mB$$

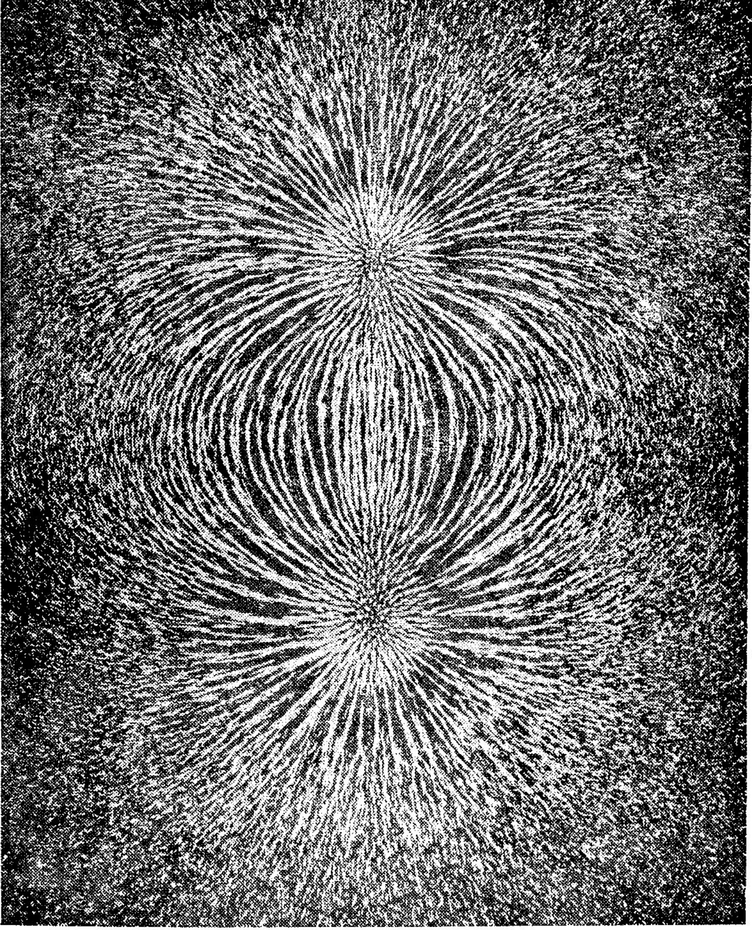
என்றும் கருத்திற்கொண்டு மேற்கூறப்பட்ட விளைவை விளக்கினர். இரு காந்தங்களுக் கிடையேயான விசையானது m_1 என்ற காந்தத் துருவம் m_2 என்ற இரண்டாவது காந்தத் துருவத்தின்மீது செயற் படும் $B= m_1/r^2$ என்னும் வலிமையுடைய காந்தப் புலத்தை உருவாக்குகிறது என்னும் அடிப்படையில் விளக்கப்பட்டது. காந்த நிலையியலைப்பற்றிய இக்கருத்தும் நிலை மின்னியலைப்பற்றிய கருத்தும் கணிதவியல் அடிப்படையில் ஒன்றே என்பதைக் காணலாம். அவ்வாறாயின் m வலிமையுடைய காந்த ஊட்டம் (துருவம்) ஒன்று விளைவிக்கும் B-கோடுகளின் மொத்த எண் ணிக்கை $N_B=4\pi m$ ஆகும்.



படம் 8-15

(a) காந்தத் தண்டிலிருந்து கிடைக்கும் B கோடுகள்
(b) அதே வடிவத்தில் அமைந்த வரிச்சுருளிலிருந்து கிடைக்கும் B கோடுகள்.

எனவே காந்தக் கட்டை ஒன்று விளைவிக்கும் விசைக் கோடுகளின் அமைப்பு படம் 191-ல் காணப்படும் இரு மாற்றியல்பு மின்னூட்டங்கள் ஒன்று விளைவிக்கும் E கோடுகளின் அமைப்பைப் போலவே இருக்கும். படம் 814 ஒரு காந்தக் கட்டையைச் சுற்றி அதன் B-ன் திசை வழியே குவிந்து நிற்கும் இரும்புத் துகள்களின் நிழற்படமாகும். படம்8-15a காந்தக் கட்டை விளைவிக்கும் B-கோடுகளின் அமைப்பைக் காட்டும் படம். படம் 8-15b வரிச்சுருள் ஒன்று விளைவிக்கும் B கோடுகளின் அமைப்பைக் காட்டும் படம். வரிச்சுருளின் புலத்தோரணி காந்தக்கட்டை யினத்தைப் போலவே இருப்பதைக் காணலாம். காந்தக்

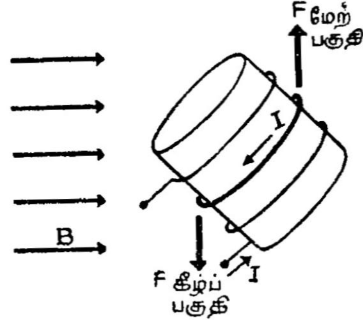


படம் 8-14.

காந்தக்கட்டை ஒன்று விளைவித்த காந்தப் புலத்தின், இரும்புத் தூள்களின் (iron fihings) உதவியால் பெறப்பட்ட தோரணி
(நன்றி: ஆர்ட் b-இயற்பியல்-physical science— ஆய்வுக்குழு)

கட்டையானது உண்மையில் அழிவிலாத 'புதிரான' அக மின்னோட்டம் ஒன்றைக் கொண்ட ஒரு வரிச் சுருளாக இருக்கலாம் என்பதை இவ்வுண்மை அறிவுறுத்துகிறது.

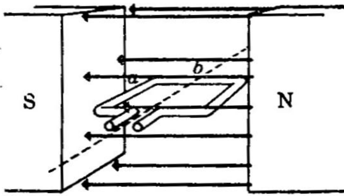
உண்மையில் வரிக்சுருள் ஒன்றை புறகாந்தப்புலம் ஒன்றில் வைக்கும் பொழுது அது காந்தக்கட்டைசெயற்படுவது போலவே புலத்தின் திசையில் நிற்க முயலுகிறது. இதனைப் படம் 8-16-ல் வரிச் சுருளுக்கு விசைச் சமன்பாடு 8-9-ஐப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் அறியலாம். ஒரு சுற்றின்றுகீழ்ப்பகுதியின் மீதான விசை கீழ்நோக்கி யுள்ளது என்றும் மேற்பகுதியின் மீதான விசை மேல் நோக்கியுள்ளது என்றும் வலக்கைவிதி II நமக்கு அறிவிக்கிறது. இருபக்கப் பகுதிகளிலுமுள்ள விசைகள் சமமாக இருப்பதோடு ஒரே கோட்டின் வழியே எதிர்த் திசையில் செயற்படுவதால் அவற்றைப் புறக்கணித்துவிடலாம். இவ்வாறாக எந்த ஒரு சுற்றி மீதும் படம் 8-16-ல் சுருளை இடத்திசையில் சுழற்றி B-ன் திசைக்குக் கொணர முயலும் திருப்பு விசை ஒன்று செயற்படுகிறது.



படம் 8-16.
சீரான காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்ட வரிச் சுருளின் ஒற்றைச் சுற்றின் மீதான விசை.

மாதிரிக் கணக்கு

படம் 8-17-ல் உள்ள கம்பிச் சுருளின் மீது செயற்படும் திருப்பு விசைக்கான வாய்பாட்டைப் பெறுக.



படம் 8-17.
சீரான காந்தப்புலம் ஒன்றில் அமைந்த செவ்வகக் கம்பிச்சுருள்.

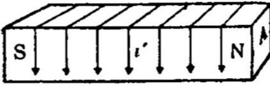
பக்கம் 80-ல் வரையறுக்கப்பட்டுள்ளபடி பக்கம் A-ன் மீதான திருப்புவிசை T-ஆனது F-ஐப் போல் $b/2$ மடங்காகும். அதாவது

$$T = b/2\left(\frac{IaB}{c}\right)$$

மொத்த திருப்புவிசையானது Q நீளமுள்ள பக்கங்களின்மீது செயற்படும் இரு ஒத்த திருப்பு விசைகளின் கூட்டுத் தொகையாகும். எனவே, A என்பது கம்பிச்சுருளின் பரப்பளவு ஆயின்

$T = IBA/c$ ஆகும். இந்த வாய்பாடு எந்த வடிவுடைய சுருள்களுக்கும் பொருந்தும். பல சுற்றெண்ணிக்கைகள் கொண்டதும் ஒரு அச்சைப்பற்றிச் சுழலக்கூடியதாயும் அமைந்த அத்தகைய ஒரு கம்பிச் சுருளே மின் சுழற்றியின் தத்துவமாகும். எளிய *d-c* (ஒரு திசை மின்னேட்ட) சுழற்றி (motor) ஒன்றில் சுருளில் மின்னேட்டமானது ஒவ்வொரு அரைச்சுற்றின்போதும் திசை மாறும் வகையில் சுருளானது இரு புருசுகளின் வழியாக மின்னேட்டக் கருவி (current source)யுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் பயனுய் கம்பிச்சுருளின் மீதான திருப்பு விசை எப்பொழுதும் ஒரே திசையில் அமைவதால் சுருளானது அதன் வழி மின்னேட்டம் நிகழும் வரைத் தொடர்ந்து சுழலுகிறது.

படம் 8-17-ல் உள்ள கம்பிச்சுருளில் ஒரு நீண்ட குறிமுள்ளும் ஒரு சுருள்வில்லும் இணைக்கப்பட்டிருப்பின் சுருளின் வழிச்செல்லும் மின்னேட்டம் அதிகரிக்கும்பொழுது குறிமுள்ளின் விலகல் அதிகரிக்கும். இதுவே அம் மீட்டரின் தத்துவமாகும்.



படம் 8-18

ஆம்பீரியன் மின்னேட்டம் i' ஐ விளக்கும் காந்தச் சட்டம்.

1836-ல் ஆம்பியர் (ampere) என்பவர் காந்தச் சட்டத்தின் செயற்பாங்கை விளக்குமுகத்தான் உண்மையில் ஒரு காந்தச் சட்டம் என்பது அதன் புறப்பரப்பைச் சுற்றிச் செல்லும் ''உள்ளமைந்த'' (''built-in'') மின்னேட்டம் ஒன்றைக் கொண்டுள்ள ஒரு வரிச் சுருளே எனக் கூறினர். அவர் கூறியதாவது '' ..... நிகழ்ச்சிகளை ஒப்பு நோக்குவோமாயின் காந்தத்தின் அச்சினைச் சுற்றி அத்தகைய மின்னேட்டங்கள் உண்மையில் இருக்கின்றனவா என என்னல் ஐயப்பட இயலவில்லை.'' இந்த ஆம்பியரின் மின்னேட்டத்தின் (amperian current) மதிப்பு காந்தச் சட்டத்தின் நீளத்திற்கிணையான ஒரு சென்டிமீட்டருக்கு i' ஸ்டேட் ஆம்பியர் என இருக்கட்டும் (படம்*8-18*). சமன் *8-16*-ன்படி B கோடுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை

$$N_B = \frac{4\pi i' A}{c}$$

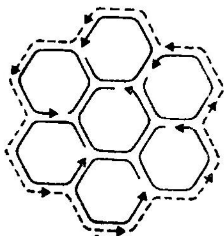
ஆனல் துருவ வலிமை m அலகுடைய ஒரு காந்தமாகக் கருதுவோமாயின்

$$N_B = 4\pi m$$

எனவே $4\pi m = \dfrac{4\pi i' A}{c}$

$$m = \frac{i'A}{c} \text{ அல்லது } i' = \frac{mc}{A} \qquad (8\text{-}18)$$

நாம் இப்பொழுது i' என்ற மின்னோட்டத்தின் அடிப்படையில் ஒரு காந்தம் அல்லது வரிச்சுருளின் துருவ வலிமைக்கான ஒரு வாய்பாட்டைப் பெற்றுள்ளோம். ஆனால் அழிவற்ற இந்த மின்னோட்டம் எங்கிருந்து வருகிறது? ஃபெரோகாந்தப் பொருள் ஒன்றின் மூலக் கூறுகளுடன் சுழிமின் தடையுள்ள ஒரு மூடப்பட்ட மின்சுற்றின் வழியே நிகழும் வட்ட மின்னோட்டம் ஒன்று இணைந்துள்ளது எனக் கற்பனைச் செய்வதன் மூலம் ஆம்பியர் இதனை விளக்கினார். புறக் காந்தப்புலம் ஒன்று இந்த மூலக் கூறுகளின் சிறு காந்தப்புலங்கள் ஒன்றுகூடும் வகையில் அவற்றை இணையாக அமைக்கிறது எனவும் அவர் கருதினார். படம் 8-19 அத்தகைய சிறு மின்னோட்டங்கள் பரப்பைச் சுற்றிச்செல்லும் நிகர மின்னோட்டம் ஒன்றை எவ்வாறு உருவாக்குகின்றன என்பதை விளக்குகிறது. உட்புறத்தில் உள்ள மின்னோட்டங்கள் ஒன்றையொன்று அழித்துக் கொள்வதைக் காணலாம்.



படம் 8-19.

சட்டகாந்தம் ஒன்றிலுள்ள ஆம்பீரியன் மின்னோட்ட வளையங்களின் முனைத்தோற்றம் (end view). தொகுபயன் புறப்பரப்பு மின்னோட்டம் புள்ளிக் கோடால் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு வளையமும் தனியொரு மூலக் கூறில் உள்ள மின்னோட்டத்தைக் குறிக்கிறது.

எலெக்ட்ரான் கண்டுபிடிக்கப்படுவதற்கு அறுபது ஆண்டுகட்கு முன்பு கூறப்பட்ட காந்தவியலுக்கான இந்த விளக்கமானது அணு அமைப்பைப் பற்றியும் காந்தவியல் கோட்பாட்டைப் பற்றியும் நமது நவீனகால அறிவைப் பெரிதும் எதிர்நோக்கியிருந்தது. ஆம்பியரின் சுழி மின்தடை மின்சுற்றுக்கள் போஹ்ரின் அணு எலெக்ட்ரான்களின் இயக்கத்தைப் பெரிதும் ஒத்துள்ளன. போஹ்ரின் அணுப் படிவத்தில் ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானும் வரிச்சுருளின் ஒரு சுற்றில் அமைந்த மின்னோட்டத்தையொத்த அழிவிலா மின்னோட்டம் ஒன்றை அளிக்கிறது. பெரும்பான்மையான அணுக்களில் இந்த எலெக்ட்ரான் பாதைகள் அல்லது மின்னோட்ட வளையங்கள் ஒன்றையொன்று அழிக்கும் வகையில் அமைந்துள்ளன. எனினும் இரும்பு, கோபால்ட், நிக்கல் போன்ற ஃபெரோகாந்தப் பொருட்கள் பின்வரும் இரு பண்புகளைப் பெற்றுள்ளன.

(1) அவற்றின் அணுக்கள் அழிவற்ற எலெக்ட்ரான் பாதைகளையும் எலெக்ட்ரான் சுழற்சிகளையும் (சுழலும் மின்னோட்டம்) பெற்றுள்ளன; (2) அடுத்தடுத்த அணுக்களிடையேயான விசைகள் அந்த அணுக்களின் மின்னோட்ட வளையங்கள் யாவும் ஒரே திசையை நோக்குமாறு வரிசையாக அமைவதில் அவை நாட்டம் கொள்ளும் வகையில் அமைந்துள்ளன. அறைவெப்ப நிலையிலுள்ள எந்த ஒரு ஃபெரோ காந்தப் பொருளும் அணுக்கள் முற்றிலும் வரிசைப் பட்ட (ஒரு அங்குலத்தில் ஒரு சில பகுதிகள் அளவுடைய) தொகுதி களால் ஆனது என்பதை இப்பொழுது நாமறிவோம். காந்த மூட்டப்படாத பொருளில் இந்த அணுத் தொகுதிகள் ஒழுங்கின்றி அமைந்துள்ளன. காந்த மூட்டப்படும்பொழுது இந்தத் தொகுதி களின் எல்லைகள் இடம் பெயர்ந்து அவை வரிசைப்படுகின்றன; மேலும் காந்தமூட்டும் (magnetising) புலத்திற்கேற்ப தக்கவாறு அமைந்த அந்தத் தொகுதிகள் மற்றத் தொகுதிகளின் எல்லைகளை ஒதுக்கி வளருகின்றன.

8-7 ஃபாரடேயின் தூண்டல் விதி

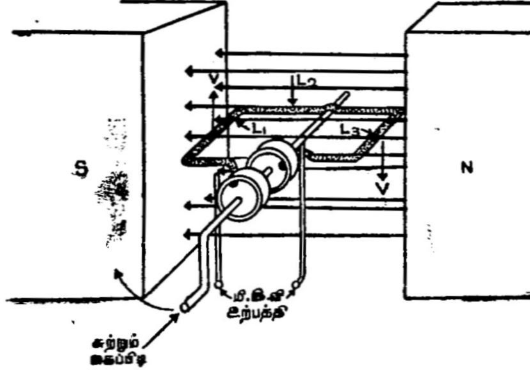
மின்கலங்களின்றி மின்னோட்டம்

மின்சாரத்தைப்பற்றிய இதுவரை நாமறியாத இறுதியான அடிப்படை விதி ஒன்று உள்ளது. அது ஃபாரடே விதி எனப்படுவதாகும். இதுவரை நாம் வெளியிடத்தில் நிலையான இடம்பெற்ற மாறாத மின்னோட்டங்களைப்பற்றி மட்டுமே ஆராய்ந்தோம். ஃபாரடே விதியானது மாறும் மின்னோட்டங்களைப்பற்றி மட்டுமே கூறுவதால் இதுவரை அதைப் புறக்கணித்ததில் நாம் தவறிழைக்கு வில்லை. ஃபாரடே விதிக்கான பொதுவானத் தொடர்பை அளிக்கு முன்பாக அதன் ஒரு குறிப்பிட்ட பயனை மின்னேக்கியைப்பற்றிக் காண்போம். படம் 8-20-ல் சீரான காந்தப்புலம் ஒன்றில் அமைந்த செவ்வகச் சுருளை மீண்டும் காணலாம். சுருளின் வழியே ஒரு மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தினால் அது சுழலத் துவங்கும் எனப் படம் 8-17-ல் கூறப்பட்டதை இங்கு நினைவு கூறலாம். மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தாமல் சுருளைக் கையால் சுழற்றுவதாகக் கொள்வோம். L_1, L_3 பக்கங்களின் வேகங்கள் v எனக் கொள்வோமாயின் சமன் 8-10-ன் படி L_1, L_3 பக்கங்களிலுள்ள ஒவ்வொரு கடத்தும் எலெக்ட்ரான்மீதும் $F=evB/c$ என்ற ஒரு விசைச் செயற்படும். இவ்விசையானது L_1 நீளத்தில் இயங்கும் எந்த எலெக்ட்ரான்மீதும் $W_1=evBL_1/c$ என்ற வேலையைச் செய்யும். செவ்வகச்சுருளை ஒருமுறைச் சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் மிகுதிபாடு இதைப்போல் இருமடங்காகும். அதாவது ஆற்றல் மிகுதிப்பாடு $W= 2evBL_1/c$. ஓரலகு மின்னூட்டத்திற்கான இந்த ஆற்றல் மின்னியக்கு விசை (சுருக்கமாக

மி. இ. வி) என வரையறுக்கப்படுகிறது. எனவே ஒரு சுற்றுக்கான மின் இயக்கு விசையானது

$$\text{மிஇவி} = \frac{2vBL_1}{c} \qquad (8\text{-}19)$$

ஆகும். மிஇவி-ஆனது மின்னழுத்தத்திற்கான அதே அலகுகளைக் கொண்டுள்ளது கவனிக்கத் தக்கது.

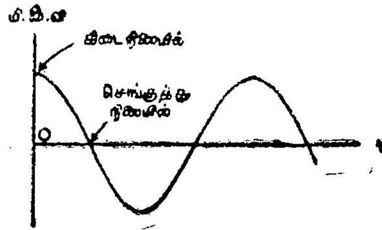


படம் 8-20.

சீரான காந்தப்புலத்தில் கையால் சுழற்றப்படும் செவ்வகச்சுருள். அத்தகைய கருவி ஒரு எளிய இருதிசை மின்னாக்கியாகும்.

கம்பிச் சுருளின் இரு முனைகளையும் ஒரு மின் சுற்றுடன் இணைத்தால் L_1, L_3-ல் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் முடுக்கம் அவற்றைப் புறச் சுற்றின் வழியே இயக்கும். இந்த எலெக்ட்ரான்கள் பெற்ற ஆற்றலைப் புறச் சுற்றிற்கு அளிக்கும். இவ்வாறாகச் சுழலும் செவ்வகச் சுருளானது மின்கலத்தைப் போன்று ஒரு மின்னழுத்தக் கருவியாக அமைகிறது. கம்பிச் சுருளில் ஒரு சுற்றுக்குப் பதிலாக N சுற்றுக்கள் இருப்பின் தூண்டப்பட்ட மின் அழுத்தம் அல்லது மி இ வி N மடங்காக இருக்கும். இதுவே மின்னாக்கியின் தத்துவமாகும். படம் 8-20-ல் உள்ள கம்பிச்சுருள் 90° சுற்றப்பட்டவுடன் v-ம் B-ம் இணையாக அமைவதால் அக்கணத்தில் மி இ வி சுழியாகும். சுருள் 180° சுற்றப்பட்டவுடன் விசையும் மிஇவி-யும் எதிர்த் திசையில் செயற்படுகின்றன. காலத்திற்கும் மிஇவி-க்கும் இடையே வரையப்பட்ட வரைபடம் படம் 8-21-ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இத்தகைய அலைவுறு மிஇவி *a-c* (இருதிசை மின்னோட்ட—alternating current) மிஇவி என அழைக்கப்படுகிறது. வீடுகளில் பயன்படுத்தப்படும் *a-c* மிஇவி 60 சுற்றுக்கள்/வி அடுக்கம் கொண்டது.

இப்பொழுது சமன் 8-19-க்கும் ஃபாரடே விதிக்குமான தொடர்பைப்பற்றி ஆராய்வோம், 0°· அல்லது கிடைமட்ட



படம் 8·21.

சுழலும் கம்பிச் சுருள் ஒன்றில் உருவாக்கப்பட்ட மிஇவி காலத்தின் சார்பலனுயமைதல்.

நிலையிலிருந்து தொடங்கி Δt கால அளவில் L_1 பக்கம் கடந்த செங்குத்துத் தொலைவு Δy எனக் கொள்வோமாயின் $v = \Delta y/\Delta t$ ஆகும்.

எனவே ச்மன் 8-19-ஐ

$$\text{மிஇவி} = \frac{2BL_1\Delta y}{c\,\Delta t} \qquad (8\text{-}20)$$

என எழுதலாம். Δt கால அளவிற்குப் பின்னர் சுருளின் வழியே செல்லும் காந்தப்பாயம் அல்லது B கோடுகளின் எண்ணிக்கை

$$N_B = B\cdot(\text{பரப்பளவு}) = B\text{-}(2L_1\ \Delta y)$$

Δt கால அளவின் தொடக்கத்தில் கம்பிச் சுருளின் வழியேயானப் பாயம் சுழியாகும். எனவே Δt கால அளவின் காந்தப் பாயத்தில் ஏற்பட்ட மாறுதல்.

$$\Delta N_B = (2BL_1\ \Delta y) - 0$$

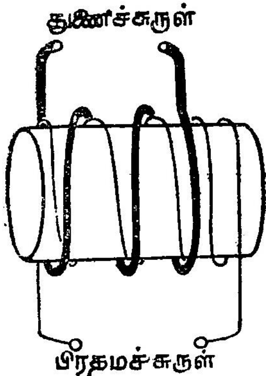
எனவே, சமன் 8-20-ஐ

$$\text{மிஇவி} = \frac{1}{c}\,\frac{\Delta N_B}{\Delta t} \qquad (8\text{-}21)$$

என எழுதலாம்.

இச்சமன்பாடு ஃபாரடே விதியாகும். இதுவரை, இச் சமன்பாடானது நிலையான காந்தப்புலம் ஒன்றில் இயங்கும் கம்பிகளுக்கு மட்டுமே பொருந்துகிறது என்று மட்டுமே நிறுவியுள்ளோம். எனினும் ஃபாரடே விதியானது மிகவும் பொதுவானதாக அமைகிறது. அது, மாறும் காந்தப் புலத்தில் (N_B அதாவது B-ன் மதிப்பு மாறுவது) அமைந்த நிலையான கம்பிச் சுருளுக்கும் பொருந்துகிறது. நிலையான மின்சுற்று ஒன்றிலுள்ள

ஒரு மாறு மின்னோட்டம் மற்றொரு நிலையான மின்சுற்றில் ஒரு மின்னழுத்தைத் தூண்டுமென ஃபாரடே விதி கூறுகிறது. ஏதோ ஓரிடத்தில் உள்ள மின்னோட்டத்தை மாற்றுவதன் மூலம் நிலையான மின் சுற்று ஒன்றில் ஒரு மின்னழுத்தத்தை உருவாக்கும் இந் நிகழ்ச்சி 1830-ல் ஃபாரடே, ஹென்றி என்ற விஞ்ஞானிகளால் தனித்தனியே கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.



படம் 8-22.
மின்மாற்றி

மின்மாற்றி (transformer)

ஃபாரடே விதியின் மிகவும் பொதுவான பயன் மின்மாற்றியாகும். மின் மாற்றியில் வழக்கமாக பிரதமச் சுருளும் (primary coil) துணைச்சுருளும் (secondary coil) அவையிரண்டும் அதே B கோடுகளை உள்ளடக்கும் வகையில் ஏறத்தாழ ஒன்றின் மீதொன்று சுற்றப் பட்டிருக்கும் (படம் 8-22). எனவே இரு சுருள்களும் ஒரே $\Delta N_B/\Delta t$ மதிப்பைப் பெற்றிருக்கும். பிரதமச்சுருளில் உள்ள சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை N_1 எனவும் துணைச் சுருளில் N_2 எனவும் கொள்வோம். சமன் : 8-21-ன்படி 2-வது சுருளில் மிஇவி அல்லது தூண்டப்பட்ட மின்அழுத்தம்

$$V_2 = (N_2)\ \frac{I}{c}\ \frac{\Delta N_B}{\Delta t}$$

அவ்வாறே 1-வது சுருளில் மிஇவி

$$V_1 = (N_1)\ \frac{I}{c}\ \frac{\Delta N_B}{\Delta t}$$

இரு மின்னழுத்தங்களின் தகவு

$$\frac{V_2}{v_1} = \frac{N_2}{v_1}$$

பிரதமச் சுருளில் a-c மிஇவி ஒன்றை அளிப்போமாயின் சுற்றெண்ணிக்கைகளின் தக்க தகவின் உதவியால் தூண்டப்பட்ட மின்னழுத்தத்தை அதிகமாக்கவோ குறைக்கவோ முடியும். சிறு மின்னழுத்தங்களை பெரு மின்னழுத்தங்களாகவோ அல்லது எதிர்மாறாகவோ மாற்றக்கூடிய இந்த வசதியான முறை d-c-க்குப் பதில் a-c-ஐப் பயன்படுத்துவதில் உள்ள நன்மைகளுள் ஒன்றாகும்.

8-8 மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகள்

மின்சாரத்தின் சுருக்கம்.

மின்சாரத்தின் அடிப்படை விதிகளின் (கூலம் விதி, ஆம்பியர் விதி, ஃபாரடே விதி) தொகுப்பு மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகள் என அழைக்கப் பெறுகிறது. ஃபாரடே விதியில் மிவிஇ என்பதற்குப் பதில் $(\overline{E}_L \cdot L)$ மூடப்பட்ட பாதை என மாற்றி எழுதப்படுகிறது. மிஇவி என்பது ஒரு மின்சுற்றில் எலெக்ட்ரான்களை இயக்கக்கூடிய, மின்னூட்டத்தின் மீதான, தூண்டப்பட்ட விசை என்பதை நாமறிவோம். மின்னூட்டத்தின்மீது ஓரலகு மின்னூட்டத் திற்கான விசை என்பது E-ன் வரையறை ஆதலால் மாறும் காந்தப்புலம் ஒன்றுடன் தூண்டப்பட்ட மின்புலம் ஒன்று எப்போதும் இணைந்திருக்க வேண்டும் என ஃபாரடே விதி கூறுகிறது. இந்நிலையில் சமன் 8-21-ஐ

$$(\overline{E}_L \cdot L)\ \text{மூடப்பட்ட பாதை} = \frac{I}{c}\,\frac{\Delta N_B}{\Delta t} \qquad (8\text{-}22)$$

என எழுதலாம்.

இதற்கு எதிர்மாறான நிகழ்ச்சியும் உண்மையாக இருக்கக் கூடாதா என மாக்ஸ்வெல் சிந்தித்தார். மாறும் மின்புலம் காந்தப்புலத்தை உருவாக்கக்கூடாதா? இது உண்மையாக இருப்பின்

$$(\overline{B}_L \cdot L)\ \text{மூடப்பட்ட பாதை} = \frac{4\pi I}{c} \qquad (8\text{-}23)$$

என்ற சமன்பாட்டின் வலப்புறத்தில் $1/c\ \Delta N_E/\Delta t$ என்ற மற்றொரு கூறும் இருக்க வேண்டும். இப்புதிய கூறை இடப் பெயர்ச்சி மின்னோட்டம் (displacement current) என மாக்ஸ்வெல் அழைத்தார். சமன் 8.28-ன் மேற்கூறப்பட்ட வடிவில் ஏதோ தவறு இருக்கிறது என்பதை நிறுவக்கூடிய எடுத்துக்காட்டு ஒன்றை மாக்ஸ்வெல் எண்ணிப் பார்த்தார். அத்தகைய எடுத்துக் காட்டையும் இடப் பெயர்ச்சி மின்னோட்டத்திற்கான மாக்ஸ் வெல்லின் சிந்தனைக்குரிய காரணத்தையும் இந்த இயலின் பின் இணைப்பில் காணலாம்.

சுருங்கக் கூறின் நுண்கணிதவியல் சாராத வடிவிலமைந்த மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளாவன.

Q என்ற மின்னூட்டத்திலிருந்து புறப்படும் கோடுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை

$$N_E = 4\pi Q \qquad (8\text{-}24)$$

$$(\overline{B}_L \cdot L)\text{மூடப்பட்ட பாதை} = \frac{I}{c}\,4\pi I + \frac{I}{c}\,\frac{\Delta N_E}{\Delta t} \qquad (8\text{-}25)$$

$$(\overline{E}_L \cdot L)\ \text{மூடப்பட்ட பாதை} = \frac{1}{c}\ \frac{\Delta N_B}{\Delta t} \qquad (8\text{-}26)$$

கடைசி இரு சமன்பாடுகளின் வலது புறத்திள்ள அளவுகள் மூடப்பட்ட பாதைகளுக்கு உட்பட்ட அளவுகளாகும். இச் சமன்பாடுகள் எல்லாவகை மூடப்பட்ட பாதைகளுக்கும் பொருந்த வேண்டும்.

8-9 மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு (Electro magnetic radiation)

ஒளியின் கொள்கை

மாக்ஸ்வெல் இறுதியாக மின்சாரத்தைப் பற்றிய செம்மையான விதிகளின் துணைகொண்டு ஒளியின் தத்துவத்தைப் பெற முனைந்தார். குறிப்பாக, மாறும் மின்னோட்டம் ஒன்று $v=c$ என்ற திசை வேகத்துடன் செல்லும் மின்காந்த அலைகளை வெளிவிடவேண்டும் என அவர் நிறுவினூர்; c என்பது மின்னோட்டங்களுக்கிடையே உள்ள விசைக்கான சமன்பாட்டில் இடம் பெறும். சோதனை முறை விகித மாறிலியாகும். அத்தகைய மின்காந்த அலையானது அதன் இயக்கத் திசைக்கு நேர்குத்தாக இருப்பதோடு ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாகவும் அமைந்த E, B ஆகிய இரண்டையும் கொண்டிருக்க வேண்டும் எனவும் அவர் நிறுவினூர். மேலும் E-ம் B-ம் ஒரே மதிப்புடையன எனவும் நிறுவப்பட்டது. இது 1864-ம் ஆண்டில் கோட்பாட்டியல் பௌதிகத்தின் (theoriticali physics) மிகப்பெரும் சாதனையாகும். இங்கு மின்சார, காந்த மற்றும் ஒளியியல் நிகழ்ச்சிகளுக்கான அடிப்படை விளக்கங்கள் அடிப்படை விதிகளை (சமன்பாடுகள் 8-24, 8-25, 8–26)க்கொண்ட எளிய தொகுப்பினுல் புனைந்து கூறப்பட்டுள்ளன. மேலும் மாக்ஸ்வெல் கோட்பாடானது எந்த அடுக்கத்தையும் (அது எவ்வளவு சிறியதாயிருப்பினும்) கொண்ட மின்காந்த அலைகள் ஒளியின் வேகத்துடன் இயங்கவேண்டும் என்றும் கூறியது. இக் கோட்பாடு முதன் முதலில் 1888-ல் ஹெர்ட்ஸ் (Hertz) என்ற விஞ்ஞானியால் சோதனை மூலம் நிறுவப்பட்டது. 1901ஆம் ஆண்டளவில் மார்க்கோணி (Marconi) என்னும் விஞ்ஞானி அட்லாண்டிக் பெருங்கடலைக் கடந்து மின்காந்த அலைகளைப் பரப்புவதில் வெற்றி பெற்ருர். ஒளி அலைகளையும் புறச்சிவப்பு அலைகளையும் விடக் குறைந்த அடுக்கமுடைய இந்த மின்காந்த அலைகள் ரேடியோ அலைகள் (Radio waves) எனப் பெயர் பெற்றன.

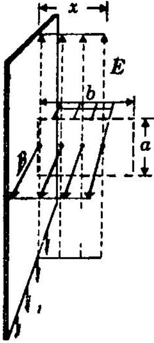
பொதுவாக மின்காந்தக் கதிர் வீச்சுக்குரிய $v = c$ என்ற சமன்பாட்டைப் பெற நுண்கணிதம் மற்றும் பகுநிச் சமன்பாடு (differential equation) களின் அறிவு தேவையாகிறது. எனினும் சென்ற இரு தலைப்புகளில் மாக்ஸ்வெல்சமன்பாடுகளைப் பெறக் கடினமாக

உழைத்த நாம் சிறப்புமிக்க உச்சக்கட்டத்தை அடையுமுன்பு பின் வாங்குவது வெட்கத்திற்குரிய செயலாகும். மின்காந்தக் கதிர் வீச்சுக்கான நுண்கணிதம் ஒழிந்த பின்வரும் முறையானது கலிஃ போர்னியத் துறை நுணுக்க விஞ்ஞானக் கழகத்தில் (California Institute of Technology) பௌதிகராகப் பணியாற்றும் R. ஃபென் மென் (Feynman) என்னும் பேராசிரியரின் துணைகொண்டு இந் நூலுக்கென உருவாக்கப்பெற்றுள்ளது.

எல்லையிலா மின்னோட்டத்தளம் ஒன்றைக் கதிர்வீச்சு மூல மாகப் பயன்படுத்துவோம். 236ஆம் பக்கத்தில் நிறுவியுள்ளபடி சென்டிமீட்டருக்கு i ஸ்டேட் ஆம்பியர் அளவும் தளத்தின் கீழ் நோக்கிப் பாயக்கூடியதுமான ஒரு மின்னோட்டம் விளைவிக்கக் கூடிய காந்தப்புலம்

$$B = \frac{2\pi i}{c}$$

ஆகும் (சமன் 8-17)



படம் 8-23

iஸ்டேட் ஆம்பியர்/செமீ அளவுள்ள பரப்பு மின்னோட்டம் (surface current) கொண்ட தளத்திலிருந்து செல்லும் E, B அலைகள், மின்காந்த அலை x தொலைவு சென்றுள்ளது.

தளத்தில் முதலில் மின்னோட்டம் இல்லாமலிருந்து திடீரென i என்ற மின்னோட்டத்தை நிகழ்த்துவதாகக் கருதுவோம் (படம் 8-23). இனி முடிவிலாத்தளத்திலிருந்து $B = 2\pi i/c$ என்ற புலம் v என்ற திசைவேகத்துடன் வெளிச் செல்லுகிறது எனக்கொள்வதே நாம் பின்பற்றவேண்டிய முறையாகும். மேலும் B-ஐத் தொடர்ந்து அதற்கு நேர்குத்தான திசையில் அமைந்த சீரான மின்புலம் E ஒன்றும் செல்கிறது எனவும் கொள்வோம். அதாவது எல்லையிலாத் தளத்திலிருந்து v என்ற திசைவேகத்துடன் ஒரு அலை அல்லது E, B ஆகியவற்றின் படியம் (step function) ஒன்று வெளிச் செல்கிறது எனக் கருதுகிறோம். அவ்வாறாயின் E, B, v ஆகியவற்றின் மதிப்புக்களைக் காண சமன்பாடுகள் 8-25, 8-26 ஆகியவற்றைப் பயன்படுத்தலாம். அத்தகைய கணக்கீட்டின்படி நாம் பெறக்கூடிய மதிப்புக்கள் $E = B = 2\pi i/c$ $v = c$ ஆகும். $v = c$ என்ற திசைவேகத்துடன் தளத்திலிருந்து வெளிச் செல்லும் அத்தகைய அலை மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளுக்கு மிகவும் பொருந்துகிறது. எனவே அத்தகைய அலையே i-ஐத் திடீரென நிகழ்த்தும்பொழுது ஏற்படக்கூடிய நிலைக்குரிய சரியான விடையாகும்.

படம்8-12-ல், மின்னோட்டம் நிகழ்த்தப்பட்ட பின் $B = 2\pi i/c$ என்ற அலையானது b-ஐ விடக் குறைவான x என்ற தொலைவே கடந்திருக்கக்கூடிய மிகச் சிறு கணத்தின் முடிவிலுள்ள நிலையைக் கருதுவோம். அந்நிலையிலும் செவ்வகத்தின் விளிம்புகளில் B சுழியாக இருத்தலால் சமன் 8-25-ன் படி

$$0 = \frac{4\pi(-ia)}{c} + \frac{I}{c}\frac{\Delta N_E}{\Delta t} \quad (8\text{-}27)$$

மேல்நோக்கிய திசையை நேர்த்திசையாக நாம் கொண்டிருப்பதால் எதிர்குறி இடம்பெற்றுள்ளது. மின்பாயம் N_E ஆனது E.ஐப்போல் பரப்பளவு $2ax$ மடங்காகும்.
எனவே செவ்வகத்தின் வழியே செல்லும் மின்பாயத்தின் நேரத்தைப் பொறுத்து மாறும்வீதம்.

$$\frac{\Delta N_E}{\Delta t} = 2E\frac{a\Delta x}{\Delta t} = 2Eav$$

ஆகும். இதனைச் சமன் 8-27-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$0 = -\frac{4\pi}{c}ai + 2\frac{Eav}{c}$$

$$E = \frac{2\pi i}{c} \times \frac{c}{v}$$

ஆகும். $(2\pi i/c)$ என்பது B-ன் மதிப்பாதலால்

$$E = B\frac{c}{v} \quad (8\text{-}28)$$

ஆகும். v-ன் மதிப்பைப்பெற மற்றொரு சமன்பாடு தேவைப்படுகிறது. அச் சமன்பாட்டைப் படம் 8.23-ல் உள்ள செங்குத்துச் செவ்வகத்தின் உதவியால் பெறலாம். மின்புலமானது $(\overline{E}_L.L$ மூடப்பட்ட பாதைக்கு செவ்வகத்தில் இடப்பக்கத்தில் மட்டும் தன் பங்கை அளிக்கிறது.

எனவே $(\overline{E}_L \cdot L)_{\text{மூடப்பட்ட பாதை}} = E \cdot a$

ஆகவே சமன் 8.26-லிருந்து

$$Ea = \frac{I}{c}\frac{\Delta N_B}{\Delta t}$$

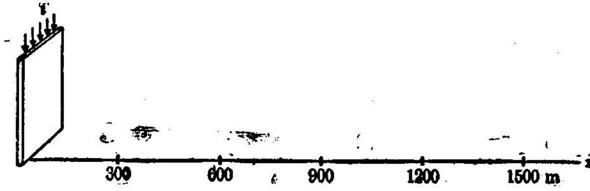
$$N_B = Bax \text{ ஆதலால் } \frac{\Delta N_B}{\Delta t} = Ba\frac{\Delta x}{\Delta t} = Bav$$

$$\text{எனவே } E_a = \frac{Bav}{c}$$

$$\text{அல்லது } E = B\frac{v}{c}$$

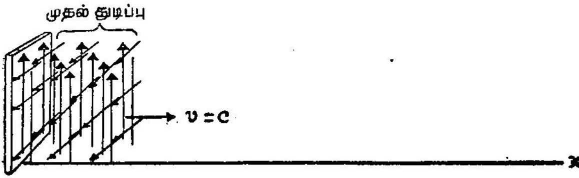
$t = 0$

i நிகழ்த்தப்படல்



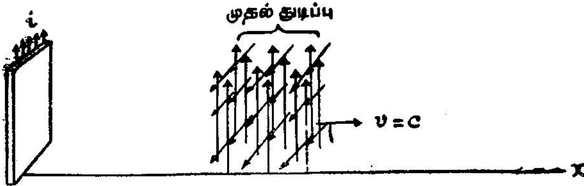
$t = 1 \times 10^{-6}$ வி

i நிறுத்தப்படல்



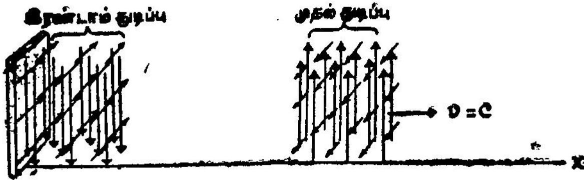
$t = 3 \times 10^{-6}$ வி

i நிகழ்த்தப்படல்



$t = 4 \times 10^{-6}$ வி

i நிறுத்தப்படல்



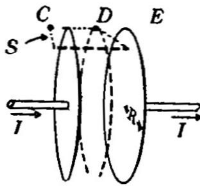
படம் 8-24

எல்லையிலாத் தளம் ஒன்றில் மின்னோட்டத்தை நிகழ்த்தி நிறுத்துவதன் மூலம் $110 \times ^{-6}$வி. அளவுள்ள மின் காந்தத் துடிப்புகள் உருவாதல்.

இச்சமன்பாட்டை 8-28-ஆல் வகுப்புதன் மூலம் $v = c$ எனக் கிடைக்கப் பெறுகிறது.

மின்னோட்டம் ஒன்றைத் திடீரென நிகழ்த்தி நிறுத்தினால் ஒரு மின்காந்தச் சதுர அலை அல்லது துடிப்பு வெளிவிடப்படும் என நிறுவுவதற்கும் இதே முறையைப் பின்பற்றலாம். அத்தகைய துடிப்புக்களின் வெளியீடு படம் 8-24-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது. E, i-க்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதால் i, சைனியலாக (Sinusoidally) மாற்றப்பட்டால் சைன்அலை ஒன்று வெளிவிடப்படும். கட்புலனாகும் ஒளியானது தக்க அலை நீளமுடைய மின்காந்த அலைகளால் ஆனது என மாக்ஸ்வெல் கூறினார். இந்நாள் (1864) வரை ஒளி அலைகள் என்றால் என்ன என்பதே பௌதிகத்தில் விடை காணப்படாத மிகப் பெரு புதிராக இருந்திருக்கலாம். ஆனால் இப்பொழுது மாக்ஸ்வெல்லின் உதவியால் ஒளி அலைகள் அலைவுறும் மின், காந்தப்புலங்களால் ஆனவை என அறிகிறோம். இதனைப் பற்றி மேலும் 10ஆம் இயலில் கூறப்படும்.

இப் பின் இணைப்பு சமன் 8-23-ல் $[1/c(\triangle N_E/\triangle t)]$ என்னும் கூறைச் சேர்க்க வேண்டியதன் இன்றியமையாமையைப் பற்றிக் கூறுகிறது. சமன் 8-23-ஐ வட்ட மின்னேற்பி ஒன்றுக்குப் பயன்படுத்தும்பொழுது கணிதவியல் முரண்பாடு ஒன்று விளைகிறது என்றும் ஆனால் அதனை மாற்றியமைத்துப் பெறப்பட்ட சமன் 8-25 சரியான விடையை அளிக்கிறது என்றும் நாம் நிறுவுவோம்.



படம் 8-25

R ஆரமுடைய வட்ட மின்னேற்பி ஒன்றின் வழியாகப் பாயும் மின்னோட்டம்.

படம் 8-25-ல் காட்டப்பட்டுள்ள வட்ட மின்னேற்பியினுள் பாயும் I என்ற மின்னோட்டத்தைக் கருதுவோம். வலது பக்கத் தட்டிலிருந்து நீக்கப்பட்ட மின்னூட்டமானது இடதுபக்கத் தட்டில் குவிகிறது. பக்கம் 233-ல் நிறுவியுள்ளபடி, மின்னோட்டத்தைச் சுற்றி R ஆரமுடைய வட்டங்களைக் கருத்திற்கொண்டு சமன் 8-23-ன் துணையால் C, E ஆகிய புள்ளிகளில் புலங்கள் $B_C = B_E = 2I/cR$ எனக் கணக்கிடப்பட்டன. எனினும் D வழியே செல்லும் R ஆரமுடைய வட்டம் உள்ளடக்கும் மின்னோட்டம் சுழியாகும். எனவே சமன் 8-23-ன் படி $B_D = 0$ஆகும். அடுத்து சமன் 8-23ஐ CD-ஐயும் படத்தளத்திற்கு நேர்குத்தாயமைந்த s நீளமுடைய இரு சிறு பக்கங்களையும் கொண்ட செவ்வகம் ஒன்றுக்குப் பயன்படுத்துவதன் மூலமும் கணிதவியல் முரண்பாடு ஒன்றைப் பெறலாம். இரு சிறு பக்கங்களையும் CD நீளத்திற்குச் சமமான மற்றொரு பக்கத்தால் இணைப்பதன் மூலம் செவ்வகம் முற்றுப்பெறுகிறது.

இனி, $(B_L \cdot L)$ மூடப்பட்ட பாதை $= B_C \cdot s - B_D \cdot s$

இச் செவ்வகத்தின் வழி மின்னோட்டம் சுழியாதலால் சமன் 8-23-ன்படி

$$B_C \cdot s - B_D \cdot s = 0$$

மேலும் $B_D = 0$ என்பதற்கு மாகரு $B_D = B_C = \frac{2I}{2R}$

எனப் பெறுகிறோம். மாக்ஸ்வெல் இந்த முரண்பாட்டைக் கண்டு பிடித்ததோடு நில்லாமல் அம்முரண்பாட்டைத் தவிர்க்கக்கூடிய தும் சோதனையுடன் இணக்கமுடையதுமான

$$\overline{(B_L \cdot L)} \text{ மூடப்பட்ட பாதை } = \frac{4\pi I}{c} + \frac{1}{c}\frac{\Delta N_E}{\Delta t}$$

என்னும் சமன்பாட்டையும் எடுத்துவைத்தார். சமன்பாட்டில் N_E என்பது பாதையினுள் அமைந்த மின்பாயம் அல்லது E கோடு களின் எண்ணிக்கையாகும். இச்சமன்பாட்டை வட்டமின்னேற்பி எடுத்துக் காட்டில் D வழியே செல்லக்கூடிய R ஆரமுடைய வட்டத்தை மீண்டும் கருதுவதன்மூலம் சரிபார்க்கலாம். சமன் 7-13-ன்படி மின்னேற்பித் தகடுகளுக்கிடையேயுள்ள E கோடு களின் மொத்த எண்ணிக்கை $N_E = 4\pi Q$ ஆகும். எனவே $\Delta N_E/\Delta t = 4\pi \Delta Q/\Delta t = 4\pi I$ இனிச் சமன் 8-25-ல் $\Delta N_E \Delta t$-க்கு $4\pi I$-ஐப் பதிலீடுசெய்வோமாயின்

$$B_D \cdot 2\pi R = 0 + \frac{1}{c}(4\pi I)$$

$$\text{அல்லது } B_D = \frac{2I}{cR}$$

இம் மதிப்பு B_C-ன் மதிப்புடன் ஒத்திருப்பதால் முரண்பாடு தவிர்க்கப்படுகிறது.

1. மின்னூட்டம் பெற்ற கம்பி வழியே செல்லும் ஒரு ஆய் வாளர் நிலையான ஒருவர் அளவிடும் அதே மின்னோட்டத்தை அளவிடுவாரா?

2. ஒரு கம்பியிலுள்ள நிகரமின்னூட்டம் சுழியாயிருப்பினும் அதில் ஒரு மின்னோட்டம் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இயங்கும் ஆய்வாளர் ஒருவரும் நிலையான ஆய்வாளர் ஒருவரும் அதே மின்னோட்டத்தை அளவிடுவார்களா?

3. 16 செ.மீ இடைவெளியில் உள்ள நீண்டநேரான இணைக் கம்பிகள் இரண்டில் ஒவ்வொன்றிலும் 4 ஆம்பியர் மின்னோட்டம் உள்ளது.

(*a*) மின்னேட்டங்கள் ஒரே திசையில் இருக்கும்பொழுது

(*b*) மின்னேட்டங்கள் எதிர்த்திசைகளில் இருக்கும் பொழுது அவற்றிற்கிடையுள்ள ஒரு புள்ளியில் B-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

4. ஒரு மீட்டர் நீளமும் 8 செ.மீ விட்டமும் கொண்ட ஒரு வரிச்சுருளில் 500 சுற்றுக்கள் உள்ளன. அதன் வழி 6 ஆம்பியர் மின்னேட்டம் இருக்கும் பொழுது

(*a*) அதனுள் உள்ள B-ன் மதிப்பு என்ன?

(*b*) B கோடுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை என்ன?

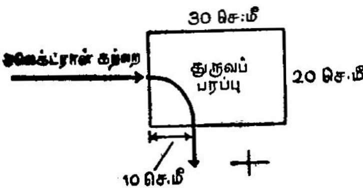
5. மற்ற அலகுகளை மாற்றுமல் மிஇவி-ஐ வோல்ட்டில் அளிக்கும் வகையில் ஃபாரடே விதியை மாற்றி எழுதுக.

6. கிழக்கிலிருந்து மேற்காக இயங்கும் ஒரு எலெக்ட்ரான் ஒரு காந்தப்புலத்தில் நுழையும்பொழுது கீழ்நோக்கி விலக்கப்படு கிறது. காந்தப்புலத்தின் திசை என்ன?

7. 300 சுற்றுக்கள் கொண்ட 100 செ.மீ^{2} பரப்பளவுள்ள கம்பிச்சுருள் ஒன்று 5000 காஸ் காந்தப்புலத்தில் 1800 *rpm* வேகத்தில் சுழற்றப்படுகிறது. விளைவிக்கப்படும் மிஇவி-ன் உச்ச மதிப்பு என்ன?

8. 100 செ.மீ^{2} பரப்பும் 1000 சுற்றுகளும் கொண்ட சுருள் ஒன்று புவிகாந்தப் புலத்திற்கு நேர்குத்தாக உள்ளது. அக்கம்பிச் சுருளை 1 விநாடி காலத்தில் $90°$ சுற்றியபொழுது அதனின்றும் கிடைக்கப் பெற்ற சராசரி மிஇவி 0.6 மில்லிவோல்ட் (0.6×10^{-3} வோல்ட்) ஆகும். புவிகாந்தப் புலத்தின் வலிமை என்ன?

கணக்கு 9



9. 10^9 செ.மீ/வி திசை வேகத்துடன் இயங்கும் எலெக்ட்ரான் கற்றை ஒன்றைப் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி ஒரு காந்தத்தால் $90°$ திருப்ப வேண்டியுள்ளது.

(*a*) இந்த கீழ்நோக்கிய விலக்கை அளிக்கவல்ல B-ன் திசை என்ன?

(*b*) காந்தத் துருவங்களிடையே இருக்கும்பொழுது எலெக்ட்ரான் பாதையின் வளைவு ஆரம் என்ன?

(*c*) காந்தப்புலத்தில் இருக்கும்பொழுது எலெக்ட்ரான்களின்மீது செயற்படும் விசை எத்தனை டைன்கள்?

(*d*) *B*-எத்தனை காஸ் மதிப்புடையது?

10. *B*-என்ற காந்தப்புலத்தில் ஒரு புரோட்டானின் சுழற்சி நேரத்திற்கான வாய்பாட்டைப் பெறுக.

11. 2 செ.மீ விட்டமுள்ள மெல்லிய தாமிரக்குழாய் ஒன்றின் வழியாக 8 ஆம்பியர் மின்னோட்டம் செலுத்தப்படுகிறது.

(*a*) குழாயின் அச்சிலிருந்து 4 செ.மீ தொலைவில் *B*-ன் மதிப்பு என்ன?

(*b*) குழாயின் அச்சிலிருந்து 0.5 செ.மீ தொலைவில் *B*-ன் மிதிப்பு என்ன? (இப்புள்ளி குழாயினுள் அமைந்துள்ளது) (குறிப்பு: 0.5 செ.மீ ஆரமுடைய மூடப்பட்டபாதை மின்னோட்டம் எதையும் உள்ளடக்குகிறதா?)

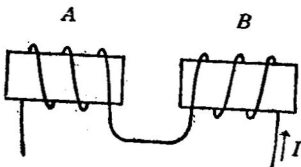
12. ஓரச்சுத் தந்திவடம் (coaxial cable) ஒன்றில் முறையே R_1, R_2 ஆரங்களையுடைய அக உருளையும் புற உருளையும் உள்ளன. அவை ஒவ்வொன்றின் வழியேயும் எதிர்த் திசைகளில் *I* ஸ்டேட் ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்கிறது. அவற்றின் அச்சிலிருந்து *r* தொலைவில் உள்ள ஒரு புள்ளியில், அப்புள்ளி

(*a*) இரு உருளைகளுக்கிடையே

(*b*) புற உருளைக்கு வெளியே

இருப்பின் *B*-ன் மதிப்பு என்ன?

கணக்கு 13



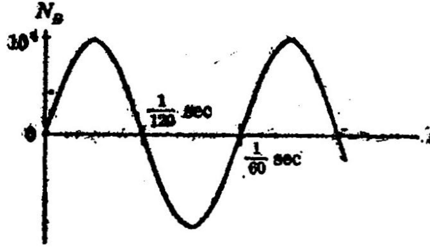
13. படத்தில் உள்ளவாறு மின்னோட்டங்களைக் கொண்ட *A*, *B* என்ற இருவரிச் சுருள்களைக் கருதுவோம்.

(*a*) *B*-ன் எந்த முனை வடதுருவமாகும்?

(*b*) *B*-ன் மீதான தொகுபயன் விசையின் திசை என்ன? (குறிப்பு: வரிச்சுருள்களை இரு இணைமாற்று காந்தக் கட்டைகளாகக் கருதுக)

(*c*) *B*-ன் மீது திருப்புவிசைச் செயற்படுகிறதா? அவ்வாறாயின் எத்திசையில் *B* சுழல முயலும்?

கணக்கு 14



14. பிரதமச் சுருளில் 10^3 சுற்றுக்களும் துணைச்சுருளில் 10^4 சுற்றுக்களும் கொண்ட ஒரு மின்மாற்றியைக் கருதுவோம். அதன் இரு சுருள்கள் வழியாகவும் செல்லும் 10^4 பெரும எண்ணிக்கையுள்ள B-கோடுகளை உருவாக்கக்கூடிய, 60 சுற்றுக்கள்/வி *a-c* மின்னழுத்த வேறுபாடு ஒன்று அதன் பிரதமச் சுருளில் நிறுவப்படுகிறது. சுற்றுக்கள் வழியாகச் செல்லும் பாய்மம் நேரத்தைப் பொறுத்து படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு மாறுகிறது.

(a) B-கோடுகளின் எண்ணிக்கை சுழியிலிருந்து பெரும மதிப்பாகிய 10^4-ஐ அடைய எவ்வளவு நேரமாகிறது.

(b) இக்கால அளவில் துணைச்சுருளில் தூண்டப்படும் மிஇவி-ன் சராசரி என்ன?

(c) இக்கால அளவில் பிரதமச் சுருளில் நிலவும் சராசரி மின்னழுத்த வேறுபாடு எவ்வளவு?

15. 20 மீட்டர் நீளமுள்ள இறக்கையையுடைய ஜெட் விமானம் ஒன்று புவிகாந்தப் புலத்தின் செங்குத்துக்கூறின் மதிப்பு 0.6 காஸ் அளவுள்ள குறுக்கையளவில் மணிக்கு 600 மைல் வேகத்தில் பறக்கிறது.

(a) இறக்கை முனைகளுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு என்ன?

(b) எந்த இறக்கை அதிக மின்னழுத்தத்தில் உள்ளது?

16. எலெக்ட்ரானின் வேகம் ஒளிவேகத்தை நெருங்கும் போது அதன் நிறை விரைவில் அதிகமாகிறது. 10,000 காஸ் மதிப்புடைய காந்தப்புலத்தில் (B) 10 செ.மீ. ஆரமுடைய (R) வட்டத்தில் இயங்கும் எலெக்ட்ரானின் நிறை என்ன? குறிப்பு சமன் 8-11-ல் $v=c$ எனக் கொள்க). எலெக்ட்ரானின் இந்த நிறைக்கும் ஓய்வு நிறைக்குமுள்ள தகவு என்ன?

17. கலிஃபோர்னியாவில், பெர்க்லியில் (Barkeley) உள்ள பீவாட்ரானில் (Bevatron) புரோட்டான்கள் $v=0.99c$ என்ற திசைவேகத்தையும் ஓய்வு நிறையைப்போல் ஏழுமடங்கு நிறையை யும் பெறுகின்றன. பீவாட்ரானில் புரோட்டானின் பாதை முழு வதும் உள்ள செங்குத்துக் காந்தப்புலத்தின் மதிப்பு 10,000 காஸ் எனில் அதன் விட்டம் எவ்வளவு?

18. $B=18,000$ காஸ் காந்தப் புலத்தையுடைய ஒரு சைக்ளோட்ரானில் ஒரு புரோட்டான் விநாடிக்கு எத்தனைச் சுற்றுக்களை மேற்கொள்ளுகிறது? இதற்குரிய விடையானது புரோட்டானின் திசைவேகத்தையோ அதன் பாதையின் ஆரத்தை யோ பொறுத்ததல்ல என்பதைக் கவனிக்க.

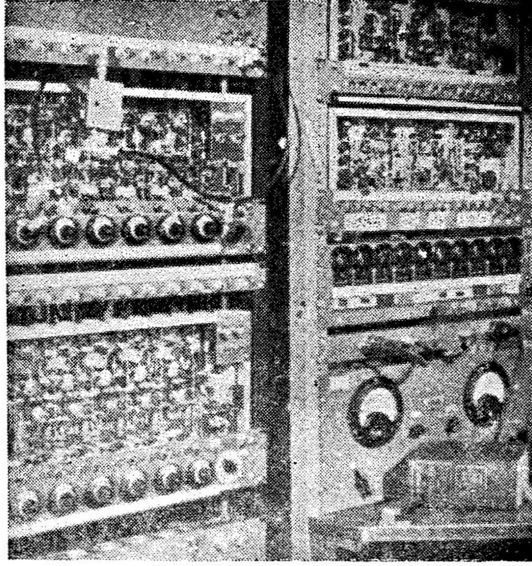
19. ஒரு பெருந்தளத்திலுள்ள மின்னோட்டம் 100 மெகா சுற்றுக்கள் (10^8 சுற்றுக்கள்/வி)அடுக்கத்துடன் சைனியலாக அலைவு கிறது. வெளிவிடப்படும் மின்புலத்தின் உச்ச மதிப்பு 5 வோல்ட்டு கள்/செ.மீ ஆகும்,

(a) ஸ்டேட் ஆம்பியர்/செ.மீ அலகில் மின்னோட்டத்தின் உச்ச மதிப்பு என்ன?

(b) B-ன் உச்சமதிப்பு எத்தனை காஸ்?

20. R ஆரமுடைய கெட்டியான தண்டு ஒன்றின் வழியாக I என்ற மின்னோட்டம் சீராகப் பாய்கிறது. தண்டினுள் அச்சி லிருந்து r தொலைவில் உள்ள ஒரு புள்ளியில் B-ன் மதிப்பு என்ன? $(r < R)$

21. படம் 8-8 முழு அளவில் உள்ளதாகவும் காந்தப்புலத்தின் மதிப்பு 12,000 காஸ் எனவும் கருதி எலெக்ட்ரானின் நிறையை அது குமிழ்கலத்தினுள் நுழையும் பொழுது கணக்கிடுக. (அது ஏறத்தாழ ஒளியின் வேகத்துடன் நுழைவதாகக் கொள்க). உமது விடைக்கும் எலெக்ட்ரானின் ஓய்வு நிறைக்கும் உள்ள தகவு என்ன? சமன் 3.6-ஐப் பயன்படுத்தி எலெக்ட்ரானின் திசைவேக மானது ஒளியின் வேகத்திற்கு எவ்வளவு அண்மையில் உள்ளது எனக் காண்க.



மின்சாரத்தின் பயன்கள்
(Electrical Applications)

இயல் 9

மின்சாரத்தின் பயன்கள்

9—1 நடைமுறை அலகுகள்

வோல்ட், ஆம்பியர்

மின்சாரத் துறை ஊழியர்களாலும் பொறியியல் வல்லுநர்களாலும் பயன்படுத்தப்படும் நடைமுறை மின்சார அலகுகளாவன; மின்னூட்டத்திற்குக் கூலம், மின்னோட்டத்திற்கு ஆம்பியர்; மின்னழுத்தத்திற்கு வோல்ட், திறனுக்கு ஜூல்/வி அல்லது வாட் ஆகும். c-ன் மதிப்பை செ.மீ/வி கணக்கில் குறிப்பிடுவோமாயின் 7ஆம் இயலில் குறிப்பிட்டுள்ளபடி கூலம் என்பது ஸ்டேட்கூலமின் $c/10$ மடங்கு ஆகும். எனவே மின் னூட்டம், மின்னோட்டம் ஆகியவற்றின் நடைமுறைஅலகுகள் அவற்றின் esu அலகுகளைப்போல் 3×10^9 மடங்கு பெரியவையா யிருக்கும். நடைமுறை அலகுகள் அவற்றின் வசதிமிக்க அளவிற்காக நிறுவப்பட்டன என ஊகிக்கலாம். எனினும் இந்த மாற்றுக் காரணி (coversion factor) $c/10$ என்பதற்கு மாறாக c என்றிருந்திருப்பின் அந்த அலகுகள் மேலும் வசதிமிக்கனவாயும் நடைமுறைக்கு ஏற்றனவாயும் இருக்கும். சமன் 7-17-ன்படி மின்னழுத்தத்திற்கான நடைமுறை அலகின் அளவு மின்னோட்டத்திற்கான கூலம், ஆற்றலுக்கான ஜூல் ஆகியவற்றில் பின்வருமாறு வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$V = \frac{U}{q}$$

$$1 \text{ வோல்ட்} = \frac{1 \text{ ஜூல்}}{1 \text{ கூலம்}} = \frac{10^7 \text{ எர்குகள்}}{3 \times 10^9 \text{ ஸ்டேட் கூலம்கள்}}$$

$$= \frac{1}{300} \; \frac{\text{எர்க்}}{\text{ஸ்டேட் கூலம்}} = \frac{1}{300} \text{ ஸ்டேட்வோல்ட்}$$

எனவே மின்னழுத்தத்திற்கான esu அலகு நடைமுறை அலகைவிட 300 மடங்கு பெரிதாக உள்ளது.

9-2 ஓம் விதி

பருப் பொருள் அமைப்பின் ஒரு விளைவு

ஒரு கடத்தியின் இரு முனைகளுக்கிடையே V என்ற ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாட்டை நிறுவுவோமாயின் அதன் வழியே I என்ற ஒரு மின்னோட்டம் பாயும். பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில் ஜார்ஜ் ஓம்(George ohm) என்பவர் வெப்ப நிலை மாறாதிருக்குமாயின் உலோகங்களில் மின்னோட்டத்தின் மதிப்பு நிறுவப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது எனக் கண்டார். மின்னழுத்தவேறுபாட்டை மின்னோட்டத்தால் வகுக்கக் கிடைப்பது கடத்தியின் மின்தடை என ஓம் வரையறுத்தார்.

$$\text{மின்தடை } R = \frac{V}{I}$$

நடை முறையில் V வோல்ட்டிலும் I ஆம்பியரிலும் அளவிடப்படுகின்றன. தடையின் அலகு வோல்ட்/ஆம்பியர் ஆகும். இந்த அலகு ஓம் எனப் பெயரிடப்பட்டுள்ளது. சில உயர்நிலைப்பள்ளி பௌதிக நூல்கள் மின்சாரத்தின் அடிப்படை விதிகளாக

1. $V = I R$
2. $I = \frac{V}{R}$
3. $R = \frac{V}{I}$

என்ற மூன்று சமன்பாடுகளையும் கூறுகின்றன.

அவ்வாறாயின் ஓம் விதி எவ்வளவு அடிப்படைத்தன்மை வாய்ந்தது; அது இயற்கையின் ஒரு புதிய அடிப்படை விதியா அல்லது இயக்க ஆற்றலைப்போன்று பருப்பொருளின் அமைப்பு, செயலெதிர்ச் செயலின் அடிப்படை விதிகள் ஆகியவற்றின் விளைவா? நம் கருத்திற்கிணங்க இரண்டாவதே உண்மையாகும். வெவ்வேறு சூழ் நிலைகளில் வெவ்வேறு பொருட்களின் மின் தடையானது திடப்பொருட்களின் குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில் மிகவும் தெளிவாக விளக்கப்பட்டுள்ளது. (இயல் 14). பின்வரும் பகுதியில் உலோகங்களின் தத்துவத்தினின்றும் ஓமின் விதி பெறப்பட்டுள்ளது.

உலோகங்களின் தத்துவத்திலிருந்து ஓமின் விதி

இயல் 14-ல் கூறியுள்ளபடி உலோகங்களில் ஒரு அணுவுடன் மோதுமுன் பல அணுவிட்டங்களைக் கடக்கக் கூடிய எலெக்ட்ரான்

கள் மின்னோட்டத்தைக் கடத்துகின்றன. மோதல்களுக்கிடையே யான சராசரித் தன்னுரிமைப்பாதை L என இருக்கட்டும், கடத்தும் எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் v எனில் Cv எல்லாத் திசைகளிலுமிருப்பதால் நிகர மின்னோட்டம் எதையும் விளைவிப்ப தில்லை) இரு மோதல்களுக்கிடையேயுள்ள கால அளவு $\Delta t = L/v$ ஆகும். உலோகத்துண்டு ஒன்றில் மின்னழுத்த வேறுபாடு ஒன்று நிறுவப்படின் ஒவ்வொரு கடத்தும் எலெக்ட்ரான் மீதும் eE என்ற விசைச் செயற்படும். அதன் பயனாய் ஒவ்வொரு கடத்தும் எலெக்ட் ரானும் Δt கால அளவில்

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = eE \text{ (நியூட்டனின் இரண்டாவது விதி)}$$

$$\text{அல்லது } \Delta v = \frac{eE}{m} \Delta t$$

என்னும் சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிற திசைவேகத்தைப் பெறும் Δt-க்கு L/v எனப்பதிலீடு செய்வோமாயின்

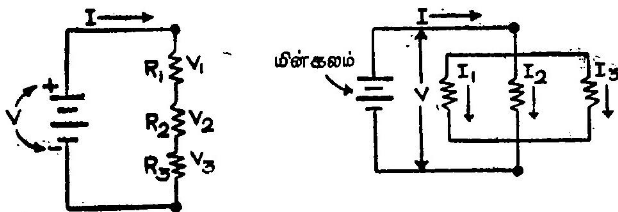
$$\Delta v = \frac{eL}{mv} \qquad (9—1)$$

Δv என்பது எல்லா எலெக்ட்ரான்களுக்கும் ஒரே திசையில் இருப்பதால் அவை ஒரு நிகர மின்னோட்டத்தை விளைவிக்கும். ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானும் ஒவ்வொரு மோதலுக்குப்பின் அதன் இழுப்புத் திசைவேகத்தை (Δv) (driftvelocity) இழக்கிறது. சராசரித் தன்னுரிமைப்பாதை (L) யானது Δv எப்பொழுதும் v-ஐ விட மிகவும் குறைவாக இருக்குமாறு சிறியதாக உள்ளது. மின்னோட்டமானது ஒரு எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம், கம்பி யின் வழியே ஒரு செ.மீ நீளத்தில் உள்ள கடத்தும் எலெக்ட்ரான் களின் எண்ணிக்கை, சராசரி இழுப்புத்திசை வேகம் $\Delta v/2$ ஆகிய வற்றின் பெருக்கற் பலனாகும், இழுப்புத்திசைவேகம், எனவே, மின்னோட்டம் E-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது என்பதைச் சமன் 9-1-லிருந்து காணலாம். ஆனல் E, நிறுவப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது. எனவே, v-ன் மதிப்பு (அல்லது வெப்பநிலை) மாறாமல் இருக்கும் வரை மின்னோட்ட மானது நிறுவப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத் திலிருக்கும். இதையே ஓம் சோதனை மூலம் அறிந்தார். சமன் 9-1 மின்னோட்டமானது வெப்ப நிலையை எவ்வகையில் சார்ந் துள்ளது என்பதையும் அறிவுறுத்துகிறது. வெப்பநிலை மிகுமாயின் v அதிகமாகிறது; மின்னோட்டம் குறைகிறது (தடை அதிக மாகிறது).

9-3 மின்சுற்றுக்கொள்கை (circuit theory)

எலெக்ட்ரான்கள் மீச்சிறு மின் தடையை நாடுகின்றன

அன்றாடம் பயன்படுத்தப்படும் மின்சாரச் சாதனங்கள் பலவற்றுள் மின்தடைகள் தொடரிணைப்பு முறையிலோ பக்க இணைப்பு முறையிலோ இணைக்கப்பட்டுள்ளன. அத்தகைய மின் தடைத் தொகுப்பின் முனைகளுக்கிடையே நிறுவப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அதன் வழிச் செல்லும் மின்னோட்டத்தால் வகுப்பதன் மூலம் தொகுப்பின் மொத்த மின்தடை R_t-ஐப் பெறலாம். படம் 9-1-ல் காட்டப்பட்டுள்ள ஒவ்வொரு மின் தடைத் தொகுப்பிலும் மொத்த மின்தடை



படம் 9-1

(*a*) தொடரிணைப்பு முறையிலும் (*b*) பக்க இணைப்பு முறையிலும் இணைக்கப் பட்ட R_1, R_2, R_3 என்ற மின் தடைகள்

$$R_t = \frac{V}{I}$$

தொடர்சுற்று ஒன்றில் எல்லா மின்தடைகள் வழியேயும் அதே மின்னோட்டம் பாய்கிறது. பக்கச்சுற்றில் ஒவ்வொரு மின் தடை வழியேயும் செல்லும் தனித்தனி மின்னோட்டங்களின் கூடுதல் மொத்த மின்னோட்டமாகும். தொடரிணைப்பில் மொத்த மின்னழுத்த வேறுபாடு

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

இரு புறங்களையும் I ஆல் வகுக்க

$$\frac{V}{I} = \frac{V_1}{I} + \frac{V_2}{I} + \frac{V_3}{I}$$

அல்லது $R_t = R_1 + R_2 + R_3$ (தொடரிணைப்பு) (9-2)

தொடரிணைப்பில் மொத்த மின் தடையானது தனித்தனி மின் தடைகளின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம் என்பதைக் காணலாம்.

பக்க இணைப்பில் (படம் 9-1*b*)

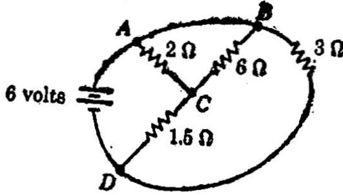
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

இருபுறங்களையும் Vஆல் வகுக்க.

$$\frac{I}{V} = \frac{I_1}{V} + \frac{I_2}{V} + \frac{I_3}{V}$$

அல்லது $\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ (பக்க இணைப்பு) (9-3)

பக்க இணைப்பு முறையில் மொத்த மின் தடையின் தலைகீழ் மதிப்பானது தனித்தனி மின்தடைகளின் தலைகீழ் மதிப்புக்களைக் கூட்டுவதன் மூலம் கிடைக்கிறது. பல சிக்கல் வாய்ந்த சுற்றுக்களையும் அவற்றை எளிய தொடர் சுற்றுக்களாகவும் பக்கச் சுற்றுக்களாகவும் பிரிப்பதன் மூலம் எளிதாக்கலாம். பின்வரும் கணக்கில் இம்முறை விளக்கப்பட்டுள்ளது.

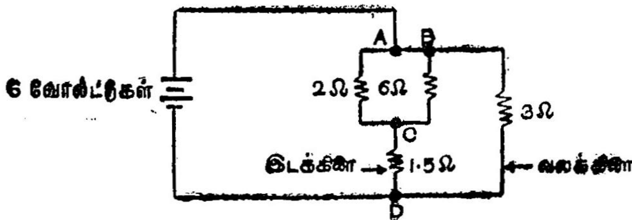


படம் 9-2

பல மின்தடைகளைக் கொண்ட சிக்கல் வாய்ந்த சுற்று Ω என்ற குறியீடு ஓம்-ஐக்குறிக்கிறது.

மாதிரிக் கணக்கு

படம் 9-2-ல் காட்டப்பட்டுள்ள சுற்றில் (a) மின்கலம் செலுத்தும் மொத்த மின்னோட்டம் என்ன? (b) 6 ஓம் மின்தடை வழியே செல்லும் மின்னோட்டம் எவ்வளவு?



படம் 9-3

படம் 9-2-ல் உள்ள அதே சுற்றை அதிலுள்ள தொடர் மற்றும் பக்க இணைப்புகள் தெளிவாகும் வண்ணம் வரையப்பட்டது

I-ன் மதிப்பைக் காண முதலில் R_t-ஐ மதிப்பிட வேண்டும். அதே மின்சுற்றை அதிலுள்ள தொடர் சுற்றுக்களையும் பக்கச் சுற்றுக்களையும் தெளிவாக்கும் வண்ணம் படம் 9-3-ல் உள்ளபடி மாற்றி வரைவதன் மூலம் Rt-ஐ எளிதில் மதிப்பிடலாம். 2 ஓமும் 6 ஓமும் அடங்கிய பக்க இணைப்பிலிருந்து நாம் தொடங்குவோம். இந்த பக்க இணைப்பின் மின்தடை R எனில்

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} = \frac{2}{3}$$

$R = 1.5$ ஓம்கள்

இது மற்றொரு 1.5 ஓம் தடையுடன் தொடரிணைப்பு முறையில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே இடக்கிளையின் மொத்த மின்தடை

$R' = R + 1.5 \approx 3$ ஓம்கள்

இறுதியாக இடக்கிளை (R') மற்றொரு 3-ஓம் தடையுடன் பக்க இணைப்பில் உள்ளது எனவே

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R'} + \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$$

$R_t = 1.5$ ஓம்கள்

மேலும் மின்கலம் செலுத்தும் மொத்த மின்னோட்டம்

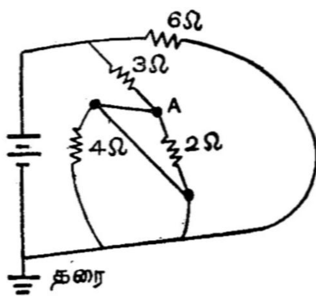
$$I = \frac{V}{R_t} = \frac{6}{1\cdot5} = 4 \text{ ஆம்பியர்கள்}$$

6 ஓம் மின்தடை வழியே செல்லும் மின்னோட்டத்தைக் காண முதலில் இடக்கிளை வழியே உள்ள மின்னோட்டம் I'-ஐ மதிப்பிட வேண்டும்.

$$I' = \frac{6 \text{ வோல்ட்டுகள்}}{R'} = 2 \text{ ஆம்பியர்கள்}$$

இந்த மின்னோட்டமானது 6 ஓம் தடையின் முனைகளில் நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாடு 2 ஓம் தடையின் முனைகளில் நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகும் வண்ணம் அவற்றின் வழி பிரிந்து செல்லுகிறது. எனவே I'-ன் 75% 2 ஓம் தடை வழியாகச் செல்லுகிறது; I'-ன் 25% அல்லது 0.5 ஆம்பியர் 6-ஓம் தடை வழியாகச் செல்லுகிறது.

குறுஞ்சுற்று (short circuit)



படம் 9-4

குறுஞ்சுற்று, A என்ற புள்ளி குறுஞ்சுற்று முறையில் தரையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது.

படம் 9-4-ல் மின்கலத்தின் எதிர்முனைத் தரையுடன் (புவியின் மின்னழுத்தம்) இணைக்கப் பட்டுள்ளது. மின்சுற்றுத் தத்துவத்தில் புவியின் மின்னழுத்தம் சுழியென வரையறுக்கப் படுகிறது. மின்சுற்று ஒரு புள்ளியைத் தரையுடன் இணைப்போமாயின் இந்த இணைப்பின் வழி தரைக்கு மின்னோட்டம் எதுவும் நிகழாது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. படம் 9.4-ல் A-ல் மின்னழுத்தம் எவ்வளவு? மின்னோட்டமானது எந்த மின்தடை வழியாகவும் இன்றி A-லிருந்து

தரைக்குக் கம்பிகளின் வழியே ஒரு நெளிப்பாதை வழியே செல்ல முடியும் என்பதைக் காணலாம். இப்படங்களில் இணைப்புக் கம்பிகள் சுழிமின் தடை உள்ளனவாய் கருதப்படுகின்றன. ஓமின் விதிப்படி ஒரு கம்பியின் முனைகளுக்கிடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு

$V = IR$ கம்பி

$= I \times 0$

$= 0$ வோல்ட்டுகள்

எனவே A-லும் மின்னழுத்தம் சுழியாகும். 2 ஓம் 4 ஓம் மின் தடைகளின் முனைகளுக்கிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடு சுழியாதலால் அவற்றின் வழி மின்னோட்டம் நிகழாது. அவ்விரு மின் தடைகளும் குறுஞ்சுற்றாக இணைக்கப்பட்டுள்ளன எனக் கூறப்படும். வீடுகளுக்கு விநியோகிக்கப்படும் 115 வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டை குறுஞ்சுற்றாக்குவோமாயின் மின்னோட்டம்

$$I = \frac{V}{R} = \frac{115 \text{ வோல்ட்}}{0 \text{ ஓம்}} = \infty \text{ ஆம்பியர்கள் ஆகும்.}$$

ஆனால் உண்மையில் கம்பிகள் சிறு அளவு மின் தடையைக் கொண்டிருக்குமாதலால் மின்னோட்டம் முடிவிலியாயிராது. எனினும் மின்னோட்டமானது மின்பொறிகளை உண்டாக்கி காப் புருகியை உருக்கும் அளவுக்கு அதிகமாக இருக்கும்.

மின்திறன்

ஓரலகு நேரத்தில் செலவிடப்படும் மின் நிலைஆற்றல் மின்திறன் எனப்படும்.

$$\text{திறன்} = \frac{U}{t}$$

Q என்ற மின்னூட்டத்தினால் பயன்படுத்தப்படும் மின் நிலையாற்றல் $U = QV$ ஆகும். ஒரு கடத்தி வழியே Q என்ற மின்னூட்டம் பாயும்பொழுது நிலையாற்றல் வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது.

வெப்பம் உருவாகும் வீதம் அல்லது

$$\text{மின்திறன்} = \frac{QV}{t}$$

மின்னோட்டத்திற்கான வரையறையின்படி $Q/t =$ மின்னோட்டம் I. எனவே

$$\text{திறன்} = IV \qquad (9\text{-}4)$$

மாதிரிக் கணக்கு

75 வாட் மின்விளக்கு ஒன்று 115 வோல்ட்டில் எரிகிறது. அது எடுத்துக் கொள்ளும் மின்னோட்டம் எவ்வளவு? அதன் தடை என்ன?

சமன் 9.4-ன்படி

$$I = \frac{\text{திறன்}}{V} = \frac{75 \text{ வாட்டுகள்}}{115 \text{ வோல்ட்டுகள்}} = 0.65 \text{ ஆம்பியர்}$$

இனி, ஓமின் விதியைப் பயன்படுத்தி மின்தடையை மதிப்பிடலாம்.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{115}{0.65} \text{ ஓம்} = 177 \text{ ஓம்கள்}$$

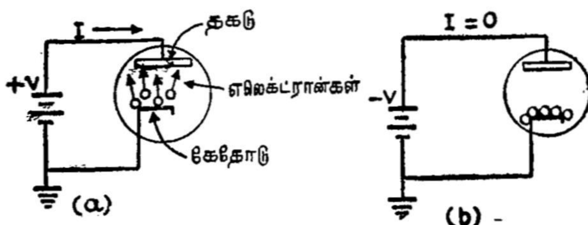
9—4 மின் குழாய்கள் (Electronic Vacuum Tubes)

மின்னியல் ஒருவழித் தடங்கள்

மின்சார விதிகளைப் பயன்படுத்தும் மிகப்பெரும் துறை எலெக்ட்ரானியல் ஆகும். மின்குழாய்களிலும் குறைகடத்தி (Semiconductor)களிலும் எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு திசையில் மட்டுமே செல்ல முடியும் என்னும் சிறப்பு மிக்க பண்பை எலெக்ட்ரானியல் பயன்படுத்துகிறது. இப்பகுதியில் டையோடு (diode), ட்ரையோடு (triode) என்ற இருவகை மின்குழாய்களைப் பற்றிக் காண்போம். படிக டையோடு (Crystal diode), டிரான்ஸிஸ்டர் (transistor) என்பவை அவற்றையொத்த பண்புகளையுடைய குறை கடத்திகள் ஆகும்.

டையோடு

இரு உலோகத் தகடுகள் அல்லது மின்வாய்களை வெற்றிடமாக்கப்பட்ட ஒரு கண்ணாடிக் குழாயினுள் அமைப்போமாயின்

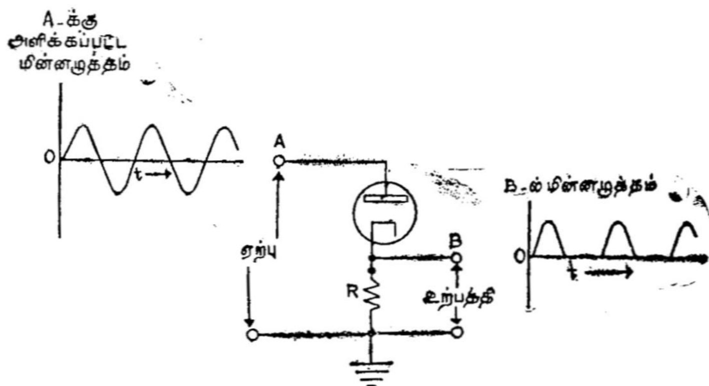


படம் 9·5

டையோடு மின்குழாய் (a)-ல் தகடு நேர் மின்னூட்டம் பெற்று மின்னோட்டத்திற்கு வழிகோலுகிறது. (b)-ல் தகடு எதிர் மின்னூட்டம் பெற்று எலெக்ட்ரான்கள் தகட்டிலிருந்து கேதோடுக்குச் செல்லமுடியாததால் மின்னோட்டம் நிகழ்வதில்லை.

அது ஒரு திறந்த மின்சுற்ருகப் பயன்படும்; அதன் வழியே மின்னேட்டம் நிகழாது. எனினும் அவற்றுள் ஒரு மின்வாயை உயர் வெப்ப நிலைக்குச் சூடேற்றினுல் உலோகத்திலுள்ள கடத்தும் எலெக்ட்ரான்களுள் சிலவற்றின் திசைவேகமானது அந்த எலெக்ட்ரான்கள் உலோகத்தை விட்டு வெளிச் செல்லுமளவுக்கு அதிகமாகிறது. வெப்ப அயனி வெளியீடு (thermionic emission) எனப்படும் இவ்விளைவைப்பற்றி இயல் 14-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது. சூடேற்றப்பட்ட மின்வாய் கேதோடு (cathode) எனவும் குளிர்ந்த மின்வாய் தகடு அல்லது ஆனேடு (plat or anode) எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. படம் 9-5-ல் காட்டியுள்ளவாறு எலெக்ட்ரான்கள் கேதோடிலிருந்து ஆனேடுக்குச் செல்ல முடியுமே ஒழிய ஆனேடிலிருந்து கேதோடுக்குச் செல்ல முடியாது.

ஆனேடுக்குக் கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம் நேர், எதிர் மின்னழுத்தங்களாக மாறிக்கொண்டேயிருக்குமாயின் படம் 9-6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு நேர் மின்னழுத்தச் சுற்றுக்களின்போது மட்டுமே குழாயின் வழி மின்னேட்டம் ஏற்படும். இங்கு *A*-க்கு ஒரு *a-c* மின்னழுத்தம் அளிக்கப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு நேர்மின்னழுத்தச் சுற்றின்போதும் டையோடு வழியே மின்னேட்டம் ஏற்படுகிறது. *R*-ன் முனைகளில் மின்னழுத்த வேறுபாடு டையோடு

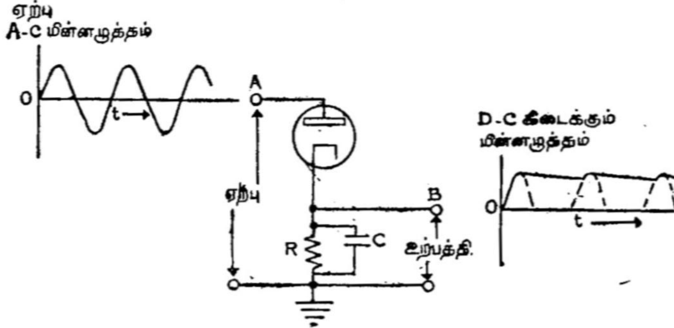


படம் 9-6

டையோடு திருத்தி (diode rectifier). ஏற்புமின்வாய் *A*க்கு *a-c* மின்னழுத்தம் ஒன்று அளிக்கப்பட்டுள்ளது. *B*-ல் கிடைக்கும் மின்னழுத்தத்தில் எதிர் மின்னழுத்தப் பகுதிகள் நீக்கப்பட்டுள்ளன.

மின்னேட்டம், *R* ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனுக்குச் சமமாகும். *A*-ல் மின்னழுத்தம் பாதி நேரத்திற்கு எதிர்மின்னழுத்தமாயிருந்த போதிலும் *B*–ல் மின்னழுத்தம் ஒரு போதும் எதிர் மின்னழுத்தமாயிராதது குறிப்பிடத்தக்கது. *B*-ல் உள்ள மின்ன

முத்த வேறுபாட்டை ஒரு மின்னேற்பியை மின்னூட்டுவிக்கப் பயன் படுத்தலாம். டையோடின் இப்பயன் டையோடு திருத்தி



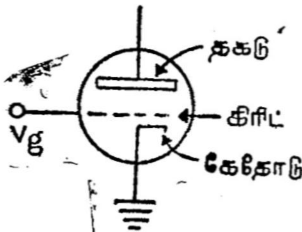
படம் 9-7

மின்னேற்பி C-உடன் கூடிய டையோடு திருத்தி C இல்லாமல் இருக்கும்பொழுது B-ல் மின்னழுத்தத்தைச் சிவப்புப் புள்ளிக்கோடு குறிக்கிறது.

(diode rectifier) என அழைக்கப்படுகிறது (படம்9.7) இது $a.c$ மின்னியக்கு விசையை $d.c$ மின்னியக்கு விசையாக மாற்றப் பயன் படுகிறது. $a.c$-ல் இயங்கும் எல்லா ரேடியோக்களும் TV கருவிகளும் a-c-ஐ d-c ஆக மாற்றுவதற்கு டையோடு திருத்திகளை உள்ளடக்கியுள்ளன.

ட்ரையோடு

ட்ரையோடு மின்குழாயில் a-c மின்னழுத்த வேறுபாடுகளைப் பெருக்க நமக்கு உதவக்கூடிய மூன்றாவது மின்வாய் ஒன்று உள்ளது. கிரிட் (grid) என அழைக்கப்படும் இந்த மூன்றாவது மின்வாய் கேதோடைச்சுற்றி அமைந்த மெல்லிய கம்பிகளாலான ஒரு திரையாகும். கிரிட்டானது கேதோடைப் பொறுத்து V_g வோல்ட்டுகள் எதிர்மின்னழுத்தமுடையதாயிருப்பின் eV_g-ஐ விட அதிக இயக்க ஆற்றலுடன் கேதோடை விட்டு வெளியேறும் எலெக்ட்ரான்கள் மட்டுமேகிரிட்டை அடைந்து ஆனோடை நோக்கிப் பயணம் செய்ய முடியும்.



படம் 9-8
டிரையோடின் உருவரைப் படம்

மாதிரிக் கணக்கு

படம் 9-8-ல் உள்ள ட்ரையோடில் கேதோடால் வெளிவிடப்படும் எலெக்ட்ரான்களில் பெரும இயக்க ஆற்றல் 6.4×10^{-12} எர்க் ஆகும். வெட்டு மின்னழுத்தம்

(cut off voltage) எத்தனை வோல்ட்டுகள் வெட்டு மின்னழுத்தம் என்பது கேதோடிலிருந்து ஆனோடுக்குச் செல்லக்கூடிய எலெக்ட்ரான்களைச் சற்றே நிறுத்தும் கிரிட் மின்னழுத்தம்.

எலெக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் eV_g அளவு குறைக்கப்படுகிறது.

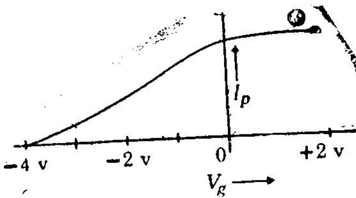
$$eV_g = KE$$

$$V_g = \frac{6.4 \times 10^{-12}}{4.8 \times 10^{-10}} \text{ ஸ்டேட் வோல்ட்டுகள்}$$

$$= 1.33 \times 10^{-2} \text{ ஸ்டேட் வோல்ட்டுகள்}$$

$$= 4 \text{ வோல்ட்டுகள்.}$$

எனவே, கிரிட் மின்னழுத்தம்—4 வோல்ட்டை விடக்குறைவாக இருப்பின் எலெக்ட்ரான் ஓட்டம் (ஆனோடு மின்னோட்டம் எனவும் அழைக்கப்படும்) நிறுத்தப்படும்.

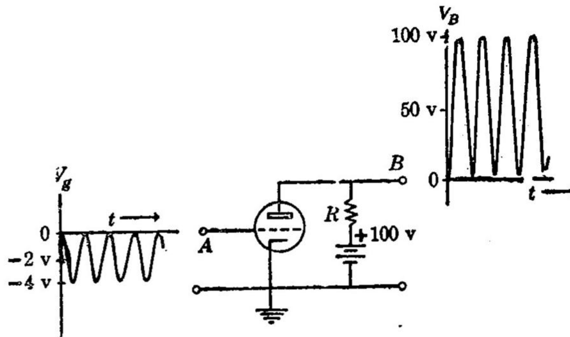


படம் 9-9

படம் 9-10-ல் உள்ள டிரையோடின் நேர்வாய் மின்னோட்டம் I_p, கிரிட்மின்னழுத்தத்தின் சார்பலனாக வரையப்பட்டுள்ளது.

படம் 9-9, 9-10-ல் உள்ள வாறு R-உடன் தொடர்சுற்றில் இணைக்கப் பட்ட ட்ரையோடுக்கு ஆனோடு மின்னோட்டம் I_p-க்கும் கிரிட் மின்னழுத்தம் V_g-க்கும் இடையே வரையப் பட்ட வரைப்படமாகும். படம் 9-9-ம் படம் 9-10-ம் −4 வோல்ட் வெட்டுமின்னழுத்தம் உள்ள அதே ட்ரையோடைக் குறிக்கின்றன. கிரிட்டானது கேதோடைப் பொறுத்து நேர்மின்னழுத்தம் கொண்டுள்ளபோது ட்ரையோடு R-ஐ நோக்கக் குறைந்த தடையே அளிக்கிறது. இந்நிலையில் ஆனோடின் (B) மின்னழுத்தம் ஏறத்தாழ சுழியாகும். (ஏறத்தாழ 100 வோல்ட் முழுவதும் பெரிய மின்தடை R-ன் முனைகளில் மின்னழுத்த வேறுபாடாகத் தோன்றுகிறது). காட்டாக ட்ரையோடு மின்தடையானது R-ன் 1% எனில் ஆனோடு மின்னழுத்தம் ஒரு வோல்ட் ஆகும். கிரிட் மின்னழுத்தம் −4 வோல்ட்டை விடக் குறைவாக இருப்பின் ட்ரையோடு எல்லையற்ற மின்தடையை அளிக்கிறது. இந்நிலையில் B-ல் மின்னழுத்தம் d-c மின்னழுத்தின் அளவே (படம் 9-10-ல் 10வோல்ட்) இருக்கவேண்டும். இவ்வாறாக, கிரிட் மின்னழுத்தம் 0—க்கும் −4 வோல்ட்டுக்கும் இடையே காலவட்டமாக (periodically) மாறுமாறு செய்யப்படின் B-லும் மின்னழுத்தம் 1 வோல்ட்டுக்கும் 100 வோல்ட்டுக்கும்

இடையே அதற்கிணங்க மாறும். எனவே, கிரிட்டுக்கு அளிக்கப் பட்ட, 4 வோல்ட் அளவில் மாறும் சைகை ஒன்று ஆனேடில் 99 வோல்ட் அளவில் மாறும் மின்னழுத்தமாகப் பெருக்கப்படுகிறது.



படம் 9-10

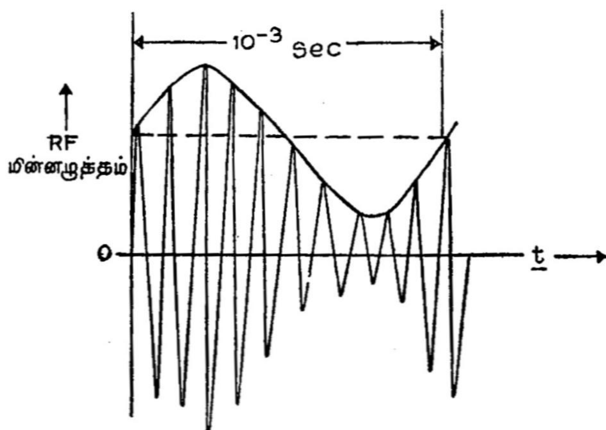
டிரையோடு பெருக்கி- கிரிட்டுக்கு அளிக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம் 25 மடங்கு பெருக்கப்படுகிறது.

இவ்வாருக கிரிட்டுக்கு அளிக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம் ஏறத்தாழ 25 மடங்கு பெருக்கப்படுகிறது. மேலும் அதிகமான பெருக்கம் தேவைப்படின் இந்த ட்ரையோடின் ஆனேடில் கிடைக்கும் மின் னழுத்தத்தை மற்ருெரு ட்ரையோடின் கிரிட்டுக்கு அளிக்கலாம். இப்பொழுது கிடைக்கக்கூடிய மொத்தப் பெருக்கம் $25 \times 25 = 625$ ஆகும். ட்ரையோடு அமைக்கப்பட்டபின் மிகவும் வலிமை குறைந்த சைகைகளேயும் பெருக்க முடிந்தது. இது, ரேடியோ செய்திப் போக்குவரத்திற்கு (radio communication)ப் புத்துயிர் அளித்தது.

9-5 ரேடியோவும் டெலிவிஷனும்

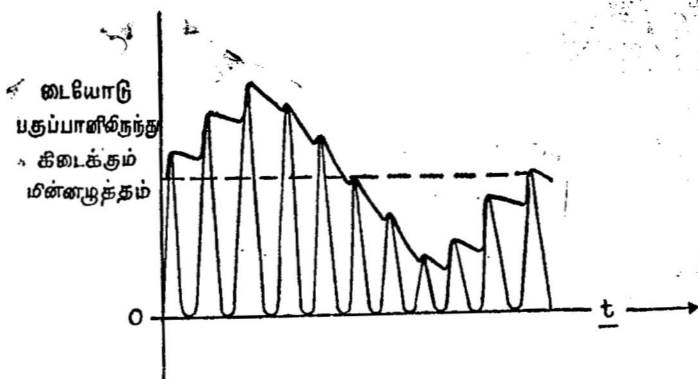
அன்ருட எலெக்ட்ரானியல்

AM ரேடியோ நிலேயம் ஒன்று பரப்பு அடுக்கப் பகுதியிலுள்ள (broadcast band) ஏதோ ஒரு நிலேயான அடுக்கத்தில் மின்காந்த அலேகளேப் பரப்புகிறது. 0.5 மெகா சுற்றுக்கள் முதல் 1.6 மெகா சுற்றுக்கள் (1 மெகா சுற்று $= 10^6$ சுற்றுக்கள்/வி) வரை உள்ள அடுக்கப் பகுதி பரப்பு அடுக்கப் பகுதியாகும். மின்காந்த அலேயின் வீச்சானது (rmplitude) பரப்பப்படும் செவியுறுச் சைகைக்கேற்ப மாற்றப்படுகிறது. (இதனேப் பண்பேற்றம்—modulation-எனலாம்). காட்டாக, படம் 9-11-ல் 1000 சுற்றுக்கள்/ விஞடி அடுக்கங்கொண்ட தனிச்சுரம் (pure note) ஒன்றின் பண்பேற்றப்பட்ட மின்காந்த அலேகளேக் காணலாம். ரேடியோவில் வலிமை குறைந்த இச்செய்கை அன்டென்ஞ



படம் 9-11.

கறுப்பு வரைகோடு நேரத்தின் சார்பலகை வரையப்பட்ட R.F (ரேடியோ அடுக்க) மினன்ழுத்தம் இப்படத்தில் R,F அல்லது உயர்-அடுக்க அலையானது 1000 சுற்றுக்கள்/வி. அடுக்கம் கொண்ட தனி சைன் அலே அல்லது தனிச்சுரத்தின் (சிறப்புக்கோடு) வீச்சுப்பண்பேற்றப்பட்டுள்ளது. தெளிவு பெறும் வகையில் படத்தில் R.F அடுக்கம் மிகவும் குறைக்கப்பட்டுள்ளது.

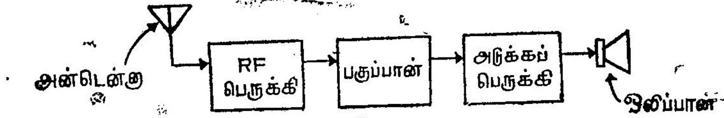


படம் 9-12.

தடித்த சிவப்புக்கோடு டையோடு பகுப்பானிலிருந்து கிடைக்கும் மின்னழுத்தத்தைக் குறிக்கிறது. இந்த மின்னழுத்தம் சிறு R.F சிற்றலே (ripple) களோடு கூடிய, பரப்பப்பட்ட செவியுறு சைகை என்பதைக் காணலாம். மெல்லிய கறுப்புக்கோடு எதிர்ப்பகுதி நீக்கப்பட்ட RF சைகையைக் குறிக்கிறது.

(antenna) வினுல் ஏற்கப்பட்டு, R. F (ரேடியோ அடுக்க—Radio Frequency) பெருக்கி ஒன்றினுல் பெருக்கப்பட்ட பின்னர் டையோடு பகுப்பான்—diode detector—எனவும் அழைக்கப்படும்) ஒன்றில் செலுத்தப்படுகிறது. டையோடிலிருந்து வெளிப்படும்

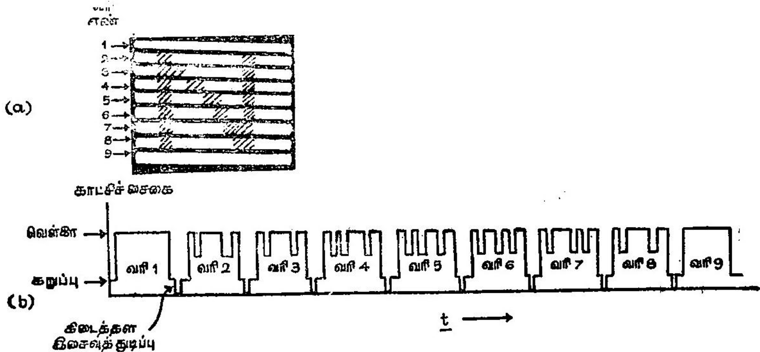
மின்னழுத்தம் படம் 9-12-ல் காட்டப்பட்டுள்ள (பரப்பப்பட்ட 1000 சுற்று/வி செவியுறு அடுக்கச் சைகையாகும். இச் செவியுறு அடுக்கைச் சைகை செவியுறு அடுக்கப் பெருக்கியால் பெருக்கப் பட்டு ஒலிப்பானுக்கு (loud speaker)க் கொடுக்கப்படுகிறது. AM ரேடியோ ஒன்றின் உருவரைப் படத்தை (block diagram)ப் படம் 9-13-ல் காணலாம்.



படம் 9-13.

A M ரேடியோ ஒன்றின் உரு வரைப்படம்

டெலிவிஷனில் RF அலைகள் காட்சிச் சைகையின் வீச்சுப் பண்பேற்றப்படுகின்றன. இவ்வகையில் டெலிவிஷன் ஏற்பி (receiver) AM ரேடியோ ஏற்பி ஒன்றை ஒத்துள்ளது. ஆனால் இறுதியில் கிடைக்கப்பெறும் காட்சிச் செய்கையானது டெலி விஷன் படக்குழாயின் திரையை மோதும் எலெக்ட்ரான் கற்றையின் செறிவை (intensity) மாற்றுவதற்குப் பயன்படுகிறது. இறுதியாகக் கிடைக்கும் காட்சிச் சைகையில் மின்னழுத்தமானது உருவாகும் பிம்பத்தின் பொலிவுக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது. இக் காட்சிச் சைகையில் ஒரு கண்ணோட்ட வரி (Scan line)யின் முடிவுக்கும் அடுத்த கண்ணோட்ட வரியின் தொடக்கத்திற்கும் இடையேயான நேர இடைவெளியில் அமைந்த மின்னழுத்தத்



படம் 9-14

(b) N என்ற எழுத்தின் 9 கண்ணோட்ட வரிகளைக்கொண்ட காட்சிச் சைகை. (b)-ல் காட்டப்பட்டுள்ள காட்சிச் சைகைகளை எலெக்ட்ரான் கற்றையின் செறிவைக் கட்டுப்படுத்துவதன் மூலம் அலைவளவு (oscilloscope) அல்லது படக்குழாயில் உருவாக்கப்பட்ட N-ன் பிம்பம்.

துடிப்புகள் (voltage pulses) படக்குழாய் விரவுச்சுற்றினை (picture tube sweep circuit) அடுத்த கண்ணோட்ட வரியைத் தொடங்கச் செய்கின்றன. N என்ற எழுத்தின் கண்ணோட்ட வரிகளின் அமைப்பைப் படம் 9-14*a*-லும் அவற்றிற்குரிய காட்சி சைகைகளைப் படம் 9-14*b*-லும் காணலாம். டெலிவிஷன் ஏற்பி ஒன்றிலுள்ள விரவுச் சுற்றுக்கள் உள்ளிட்ட அதன் உருவரைப் படத்தைப் படம் 9.15-ல் காணலாம். அமெரிக்காவில் செயற்படும் டெலிவிஷனில் ஒரு வரித் தொகுதியில் (frame) 525 வரிகளும் ஒரு வினாடியில் அத்தகைய 30 முழுத் தொகுதிகளும் உள்ளன.

9-6 எலெக்ட்ரான் வோல்ட் (Electron volt)

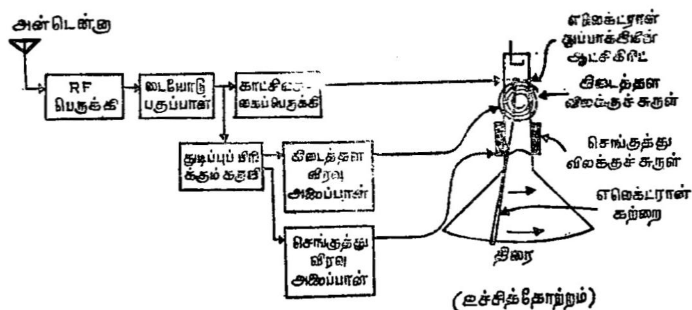
மேலும் ஒரு அலகு

எலெக்ட்ரான் வோல்ட் (ev) என்பது எர்க், ஜூல் ஆகியவற்றைப் போன்று ஆற்றலுக்கான மற்றொரு அலகாகும். அதன் அளவு ஒற்றை அடிப்படைத் துகள்களின் (single elementary particles) ஆற்றல்களை அளவிடுவதற்கேற்ப சிறியதாக உள்ளது.

$$1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ எர்குகள்}$$

ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் வழியே ஒரு எலெக்ட்ரான் முடுக்கப்படும்பொழுது அதற்கு அளிக்கப்பட்ட ஆற்றலே ஒரு எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டின் மதிப்பாகத் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டுள்ளது.

இதனைச் சமன் 7.14-ன் உதவியால் சரி பார்க்கலாம்.



படம் 9-15

டெலிவிஷன் ஏற்பி ஒன்றின் உருவரைப்படம்

$$W = Q \times V$$

$$1 \text{ ev} = (e) \times (1 \text{ வோல்ட்})$$

$$= 4.8 \times 10^{-10} \text{ esu} \times (1/300 \text{ ஸ்டேட் வோல்ட்})$$

$$= 1.6 \times 10^{-12} \text{ எர்குகள்}$$

மாதிரிக் கணக்கு

ஒரு ட்ரையோடின் கேதோடு, கிரிட், ஆனோடு ஆகியவற்றின் மின்னழுத்தங்கள் முறையே 0, −2, 90 வோல்ட்டுகள் ஆகும். கேதோடிலிருந்து ஒரு எலெக்ட்ரான் 3 ev இயக்க ஆற்றலுடன் வெளிப்படுகிறது.

(a) கிரிட்டை அடையும்பொழுது எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் என்ன?

(b) ஆனோடை அடையும்பொழுது அதன் இயக்க ஆற்றல் என்ன?

(c) 3 − ev எலெக்ட்ரானை ஆனோடை அடையாமல் நிறுத்துவதற்குத் தேவையான கிரிட் மின்னழுத்தம் என்ன ?

கிரிட்டுக்கும் கேதோடுக்கும் இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு 2 வோல்ட்டுகளாகும். அவற்றிற்கிடையேயுள்ள பகுதியில் உள்ள மின்புலம் எலெட்ரான் இயக்கத்தை எதிர்க்கிறது. இதன் பயனாய் கேதோடிலிருந்து கிரிட்டுக்குச் செல்லும் எலெக்ட்ரான் 2ev இயக்க ஆற்றலை இழக்கிறது. எனவே, அது கிரிட்டை அடையும்பொழுது அதன் இயக்க ஆற்றல் = 3 ev — 2 ev = 1 ev ஆகும். கிரிட்டுக்கும் ஆனோடுக்கும் இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு 92 வோல்ட். இது கிரிட்—கேதோடு மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு எதிர்த் திசையில் உள்ளது. எனவே, கிரிட்டிலிருந்து ஆனோடை அடையும் எலெக்ட்ரான் 92 ev இயக்க ஆற்றலைப் பெறும். ஆகவே ஆனோடில் அதன் மொத்த இயக்க ஆற்றல் 1 ev + 92 ev = 93 ev ஆகும்.

கிரிட்டானது—3ev-ஐவிடக் குறைவான மின்னழுத்தத்தைப் பெற்றிருப்பின் எலெக்ட்ரான் கிரிட்டை அடையுமுன் அதன் இயக்க ஆற்றல் முழுவதையும் இழந்துவிடுமாதலால் கிரிட்டையோ அல்லது ஆனோடையோ அடைய முடியாது.

உயர் ஆற்றல் முடுக்கிகளால் அடிப்படைத் துகள்களுக்குக் கொடுக்கப்படும் ஆற்றல்களை ev அல்லது Mev (மில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள்)-ல் அளவிடுவது வழக்கம். 3 மில்லியன் வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டை உருவாக்கக்கூடிய வான் டி கிராஃப் மின்னூக்கி (பக்கம் 186) ஒன்று எலெக்ட்ரான் அல்லது புரோட்டான்களை 3 Mev இயக்க ஆற்றலைப் பெறுமாறு முடுக்க முடியும். வான் டி கிராஃப் மின்னூக்கியை $Q = 2e$ அளவு மின்னூட்டங்கொண்ட ஹீலியம் அணுக்கருக்களை முடுக்குவதற்கும் பயன்படுத்தலாம். இங்கு பெறப்படும் ஆற்றல் $W = QV$ என்பது துகளின் மின்னூட்டத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதால் அது

புரோட்டான் பெறும் ஆற்றலைப்போல் இரு மடங்காக இருக்கும். அதாவது 3 மில்லியன் வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டினுல் முடுக்கம் பெறும் புரோட்டான் 6 Mev இயக்க ஆற்றலைப் பெறுகிறது.

3 Mev எலெக்ட்ரானின் நிறையானது 7 மடங்கு அதிகரித்துள்ளது என்பது குறிப்பிடத் தக்கது. இயல் 3-ல் கூறியுள்ளபடி ஒரு துகளின் வேகம் ஒளி வேகத்தை நெருங்கும்பொழுது அதன் நிறை அதிகமாகும். சமன் 5-9-ன்படி ஒரு எலெக்ட்ரானின் ஓய்வு ஆற்றல்

$$W_0 = m_0c^2$$

எலெக்ட்ரானின் ஓய்வு நிறை $m_0 = 9.1 \times 10^{-28}$ கி எனில்

$$W_0 = (9.1 \times 10^{-28}) \times (3 \times 10^{10})^2 \text{ எர்குகள்}$$

$$= 8.2 \times 10^{-7} \text{ எர்குகள்}$$

$$= \frac{8 \cdot 2 \times 10^{-7}}{1.6 \times 10^{-12}} \text{ ev}$$

$$= 5.1 \times 10^5 \text{ ev} = 0.51 \text{ Mev}$$

எனவே, 3 Mev எலெக்ட்ரான் ஒன்று அதன் ஓய்வு ஆற்றலைப் போன்று ஏறத்தாழ 6 மடங்கு இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. அதன் ஓய்வு ஆற்றல், இயக்க ஆற்றல் ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகை அதன் மொத்த ஆற்றல் W ஆகும். எனவே மொத்த ஆற்றல்

$$W = 7\, m_0c^2$$

சமன் 5-9-ன்படி எலெக்ட்ரானின் சார்பியல் நிறை (relativistic mass)

$$m = \frac{W}{c^2}$$

W-க்கு $7\, m_0c^2$ எனப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$m = \frac{7m_0c^2}{c^2}$$

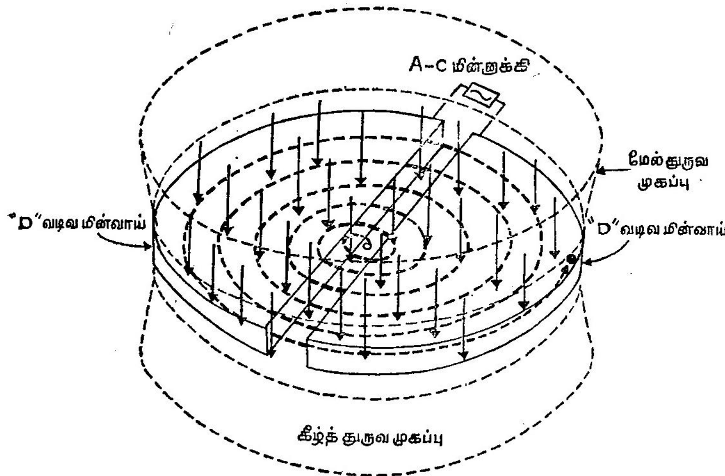
அல்லது $m = 7\, m_0$

9-7 சைக்ளோட்ரான் (cyclotron)

வட்டங்களில் சுற்றுவதால் வட்டி கிடைக்கும்

பக்கம் 231-ல் கூறப்பட்டுள்ளவாறு சீரான காந்தப்புலம் ஒன்றின் உதவியால் மின்னூட்டத் துகள்கள் அடங்கிய கற்றை ஒன்றை வட்டப் பாதையின் வழியே இயக்க முடியும். சைக்ளோட்ரானில் உள்ள பெரிய மின்காந்தம் ஒன்று இத்தகைய சீரான

காந்தப்புலத்தை அளிக்கிறது. மேலும், ஒவ்வொரு அரைவட்டப் பாதையின் முடிவிலும் தக்க திசையில் செயற்படும் மின்புலத்தின் உதவியால் மின்னூட்டத் துகள்கள் முடுக்ககப்படுமாறு சைக்ளோட்ரான் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. மின்புலமானது படம் 9-16-ல்



படம் 9-16

சைக்ளோட்ரானின் உருவரைப்படம். B-கோடுகள் சிவப்பு வண்ணத்தில் உள்ளன. D-வடிவ மின் வாய்கள் கறுப்புக் கோட்டால் குறிக்கப்பட்டுள்ளன; மெல்லிய கறுப்புப்புள்ளிக் கோடுகள் சைக்ளோட்ரான் காந்தத்தின் துருவ முகப்புகளையும் சுருள் வடிவில் அமைந்த தடித்த புள்ளிக்கோடு மையத்திலிருந்து புறப்படும் புரோட்டானின் பாதையையும் குறிக்கின்றன. (scientific American-லிருந்து தழுவப் பெற்றது).

காட்டப்பட்டுள்ளவாறு இரு உள்ளீடற்ற D வடிவ மின்வாய்களுக்கிடையே செயற்படுகிறது. துகளின் ஒவ்வொரு அரைச்சுற்றின் முடிவிலும் மின்புலத்தின் திசைமாறும் வகையில் D-களுக்கிடையே ஒரு a-c மின்னழுத்த வேறுபாடு நிறுவப்படுகிறது. இதன் பயனாய் மின்புலமானது எப்பொழுதும் துகள்களை முடுக்குவதற்குரிய சரியான திசையில் செயற்படுகிறது. வெவ்வேறு ஆற்றல்களையுடைய துகள்கள் வெவ்வேறு சுழற்சி நேரங்களைக் கொண்டிருப்பின் a-c மின்னழுத்த வேறுபாடு எப்பயனையும் அளிக்காது. சமன் 8-11-ன் உதவியால் சுழற்சி நேரமானது துகளின் ஆற்றலையோ, வட்டப்பாதையின் ஆரத்தையோ சார்ந்திராது என நிறுவலாம். சமன் 8-11-ன்படி வட்டப் பாதையின் ஆரம்

$$R = \frac{mc}{eB}\ v$$

$v = 2\pi R/T$ (சமன் 2-15) எனப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$R = \frac{mc}{eB} \cdot \left(\frac{2\pi R}{T}\right)$$

$$\text{அல்லது } T = \frac{2\pi mc}{eB} \qquad (9\text{-}5)$$

எனவே T-ன் மதிப்பு R, v ஆகியவற்றைச் சார்ந்ததல்ல.

சின்க்ரோசைக்ளோட்ரான் (Synchrocyclotron)

உண்மையில் துகள்களின் v ஆனது ஒளிவேகத்துடன் ஒப்பிடக் கூடிய மதிப்பைப் பெறும்பொழுது சமன் 9-5-லிருந்து கிடைக்கப் பெறும் சுழற்சிநேரம் T-ன் மதிப்பு v-ஐச் சார்ந்திராமல் இல்லை. ஏனெனில் அத்தகைய வேகங்களில் துகள்களின் நிறை m ஆனது

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

என்னும் சமன்பாட்டிற்கிணங்க அதிகரிக்கவேண்டும். இதன் காரணமாக முற்பகுதியில் கூறப்பட்ட சைக்ளோட்ரான்கள் புரோட்டான்களை ஏறத்தாழ 20 Mev ஆற்றல் வரையிலுமே முடிக்கமுடியும் என்னும் துகள்களின் சார்பியல் நிறைகள் அதிகமாவதற்கேற்ப a-c முன்னியக்கு விசையின் நேரம் T-ம் அதிகரிக்கப்பட்டால் கிடைக்கக் கூடிய ஆற்றலுக்கு (காந்தத்தின் அளவால் ஏற்படும் வரம்பைத் தவிர) எல்லையே இல்லை, a-c மின் இயக்கும் விசையின் நேரம் T மாறும் வகையில் அமைக்கப்பட்ட சைக்ளோட்ரான் சின்க்ரோசைக்ளோட்ரான் எனப்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு

ஒரு சின்க்ரோசைக்ளோட்ரான் 18,000 காஸ் காந்தப் புலத்தைக் கொண்டுள்ளது. புரோட்டான்கள் $v = 0.01c$, $v = 0.6c$ வேகங்களைக் கொண்டிருக்கும்பொழுது a-c மின்னியக்கு விசையின் அடுக்கம் என்ன?

சமன் 9-5-ல் $m = M_P = 1.67 \times 10^{-24}$ கி. $B = 1.8 \times 10^4$ காஸ் எனப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$T = \frac{2\pi \times 1.67 \times 10^{-24} \times 3 \times 10^{10}}{4.8 \times 10^{-10} \times 1.8 \times 10^4} \text{ வினடி}$$

$$T = 3.64 \times 10^{-8} \text{ வினடி}$$

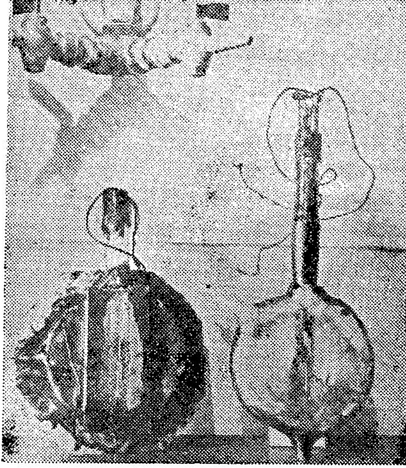
$$\text{அல்லது } f = \frac{1}{T} = 27.5 \text{ மெகா சுற்றுக்கள்.}$$

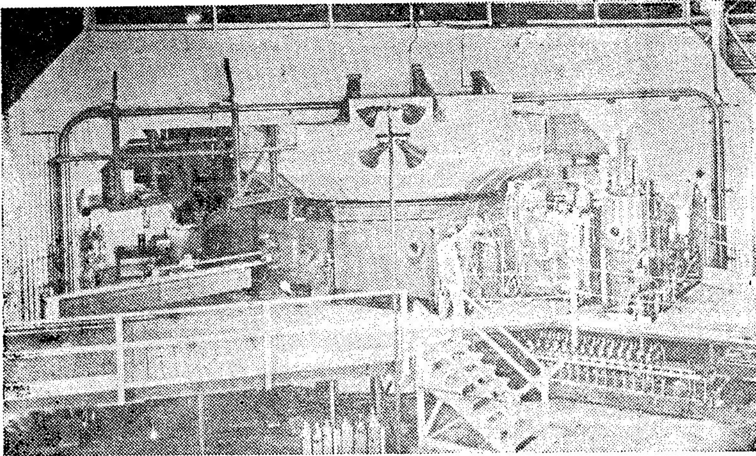
துகள்களின் வேகம் $0.6c$ அளவுக்கு அதிகமாக இருக்கும்பொழுது

புரோட்டானின் நிறையைப் பெற சமன் 3-6-ஐப் பயன்படுத்த வேண்டும்.

$$M_P = \frac{1.67 \times 10^{-24}}{\sqrt{1-(0.6)^2}} \text{ கி} = 1.25 \times 1.67 \times 10^{24} \text{ கி}$$

நிறையானது 25% அதிகரித்திருப்பதைக் காணலாம். அதற்கேற்ப,





படம் 9-17

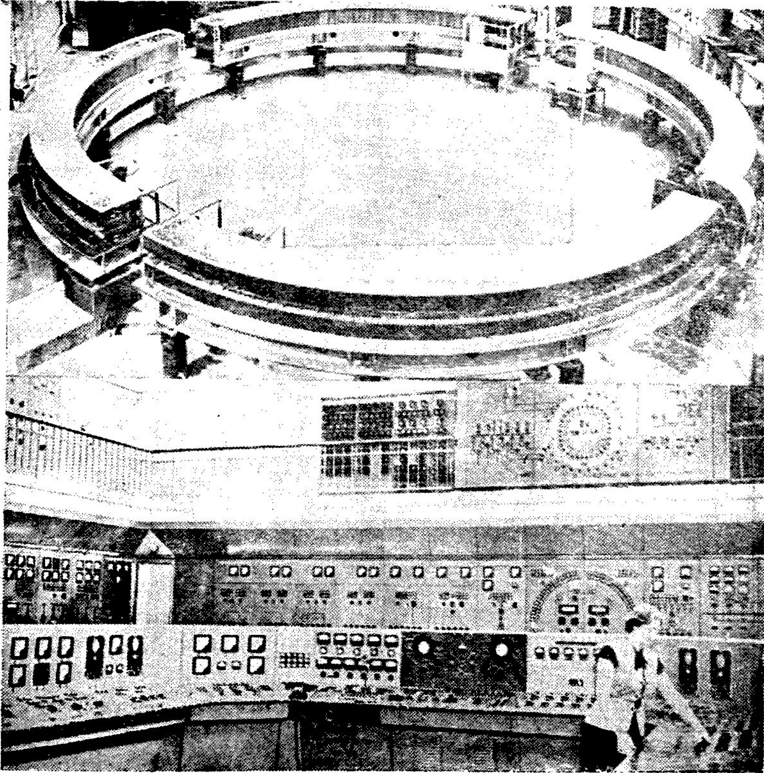
சைக்ளோட்ரானின் வளர்ச்சி. முதல் சைக்ளோட்ரானின் வெற்றிடஅறைகள் வலப்புறத்தில் உள்ளன. உலகிலேயே மிக உயர்ந்த ஆற்றலை அளிக்கக் கூடிய சின்க்ரோசைக்ளோட்ரானை கீழ்படத்தில் காணலாம். (நன்றி: லாரென்ஸ் கதிர் வீச்சு ஆய்வுக்கூடம், கலிஃபோர்னியாப் பல்கலைக்கழகம்)

சமன் 9-5-ன்படி T-ன் மதிப்பும் அதிகமாகும். 25% அத்தகைய புரோட்டானின் இயக்க ஆற்றல் அதன் ஓய்வு ஆற்றலில் 25% சதவீதம் ஆகும்; அதாவது 938 Mev-ல் 25% அல்லது 234-Mev ஆகும்.

படம் 9-17-ல் உலகின் மிக உயர்ந்த ஆற்றலை அளிக்கும் சின்க்ரோசைக்ளோட்ரானுக்கு மேற்புறத்தில் 1930-ல் E. O. லாரென்ஸ், M. S. லிவிங்ஸ்ட்டன் ஆகியவர்களால் அமைக்கப் பட்ட உலகின் முதல் சைக்ளோட்ரானின் வெற்றிட அறையைக்

படம் 9.18.

வளைய வடிவ வெற்றிட அறையை அமைப்பதற்கு முன் கார்னெல் எலெக்ட்ரான்சின்க்ரோட்ரானின் தோற்றம். முடுக்கம் மின்வாய்கள் வலப்புறத்தில் உள்ளன.



படம் 9-19

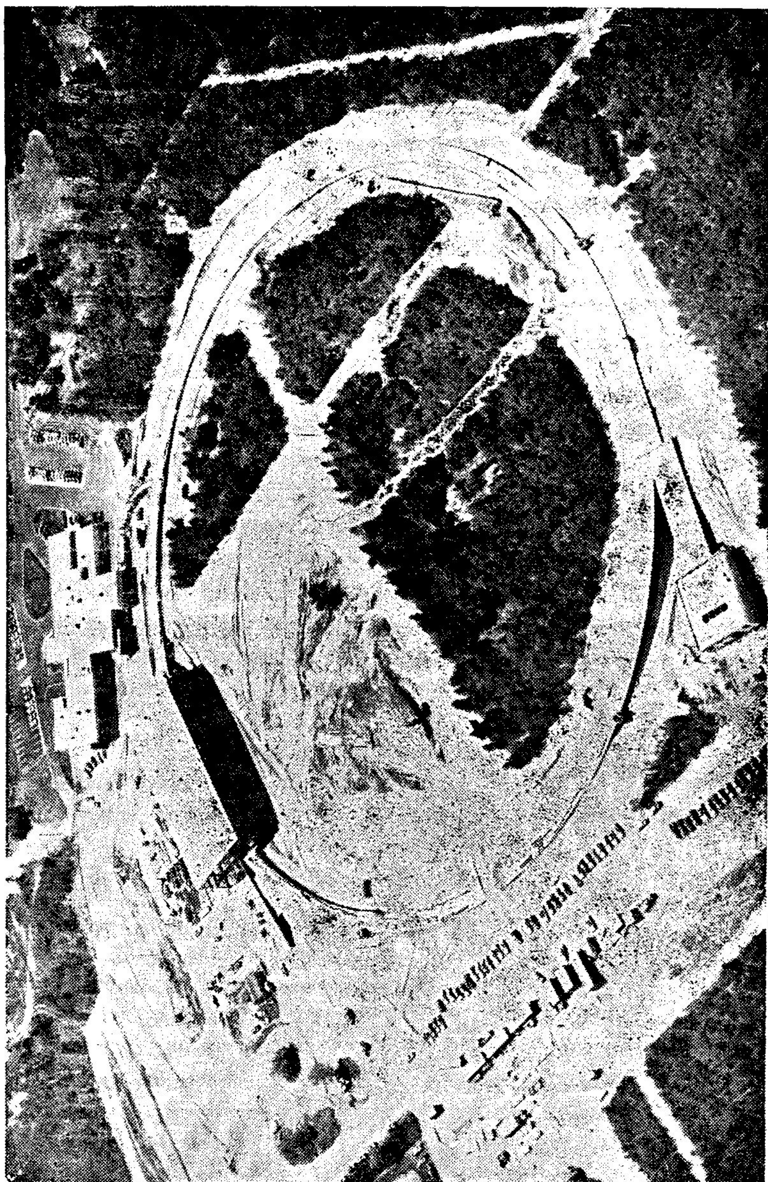
ரஷ்யாவைச் சேர்ந்த 10-Bev புரோட்டான் சின்க்ரோட்ரானின் கட்டுப்பாட்டு அறை (control room) (நன்றி: சோவ்ப்.: போட்டோ)

காணலாம். E. O. லாரென்ஸாலேயே அமைக்கப்பட்ட, கீழ்ப் படத்திலுள்ள, இராட்சத பெர்க்லி சின்க்ரோசைக்ளோட்ரான் இரண்டாவது உலகப்போர் முடிந்த சில நாட்களுக்குப் பிறகு துவக்கிவைக்கப்பட்டது. சில மாறுபாடுகளுக்குட்பட்ட அது இப்பொழுது புரோட்டான்களை 730-Mev இயக்க ஆற்றலுக்கு முடுக்கமுடியும்.

9-8. உயர் ஆற்றல் முடுக்கிகள்

எல்லையை அறிவார் யார்?

முடுக்கிகளின் அமைப்பில் அண்மையில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றங்களின் பயனாய் பெர்க்லி சின்க்ரோசைக்ளோட்ரானில் உள்ள காந்தத்தின் எடையைவிடக் குறைவான எடையுடைய காந்தத்தைக்கொண்டும் அதிக ஆற்றல்களைப் பெறமுடிகிறது. துகள்களின் பாதை முழுவதும் காந்தப்புலத்தை அமைப்பதற்கு மாறாக அவற்றின் புறப்பாதை அளவில் மட்டும் காந்தப்புலத்தை நிறுவுவது அத்தகைய முன்னேற்றங்களுள் முக்கியமானதாகும். துகள்களுக்கான சைக்ளோட்ரான் அறைக்குப் பதிலாக வெற்றிடமாக்கப்பட்ட உள்ளீடற்ற வளைய வடிவ அறை பயன்படுத்தப் படுகிறது. சைக்ளோட்ரானில் உள்ளது போலவே துகள்கள் ஒரு மின்புலத்தின் வழியே முடுக்கப்படுகின்றன. அதே நேரத்தில் துகளின் உந்த அதிகரிக்குப்புக்கேற்ப காந்தப்புலமும் அதிகமாக்கப் படின் சமன் 8-11-ன்படி வட்டப்பாதையின் ஆரம் நிலையாக அமையும். இவ்வகை முடுக்கிகள் சின்க்ரோட்ரான்கள் (Syncrotrons) எனப்படுகின்றன. படம் 9-18-ல் கார்னெல் எலெக்ட்ரான் சின்க்ரோட்ரானின் (Cornell electron synchrotron) வளையவடிவ காந்தத்தைக் காணலாம். 1.4 × 3 அங். நீள்வட்டக் குறுக்குப் பரப்பைக் கொண்ட வெற்றிடமாக்கப்பட்ட வளைய வடிவ அறை காந்தப்புலத்தில் நடுவில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. கார்னெல் சின்க்ரோட்ரானில் *R*, *B* பெருமம் ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் எலெக்ட்ரான்களை 1.2 Bev (பில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள்) அளவுக்கு முடுக்கக்கூடிய அளவில் அமைந்துள்ளன. புதிய அடிப்படைத் துகள்களைப் பற்றிய முன்னோடி ஆராய்ச்சிகளுள் பல புரூக்ஹேவன் தேசிய ஆய்வுக்கூடத்தில் (Brookhaven National Loboratory) உள்ள காஸ்மோட்ரான் (Cosmotron) எனப்படும் 3-Bev புரோட்டான் சின்க்ரோட்ரானின் உதவியாலும் பெர்க்லியிலுள்ள பீவாட்ரான் (Bevatron) எனப்படும் 6.2 Bev புரோட்டான் சின்க்ரோட்ரானின் உதவியாலும் செய்யப்பட்டன. பீவாட்ரானைப் படம் 16-3-ல் காணலாம். 10-Bev பீவாட்ரான் ஒன்று மாஸ்கோவுக்கருகில் உள்ளது. இந்த இராட்சத எந்திரத்தின்

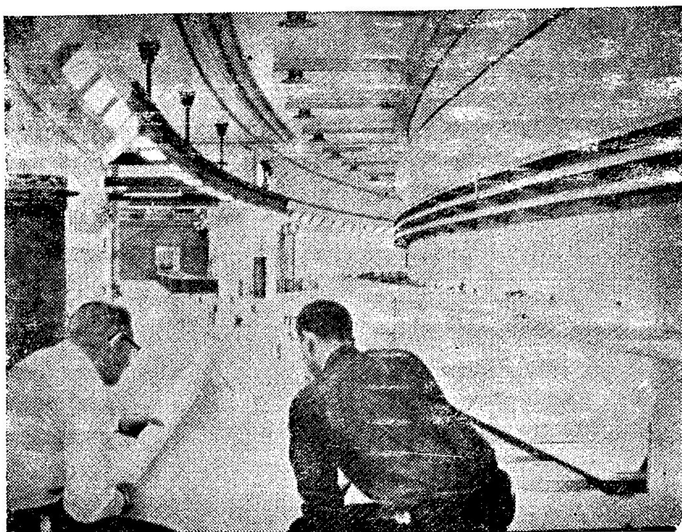


படம் 9-20.

புரூக்ஹேவன் 30-Bev புரோட்டான் சின்க்ரோட்ரானின் கட்டமைப்பின் வானியல் தோற்றம் (aerial view). அரை மைல் நீளமுள்ள காந்தம் வளைய வடிவசுரங்க அறையில் உள்ளது. (நன்றி : புரூக்ஹேவன் தேசிய ஆய்வுக் கூடம்)

கட்டுப்பாட்டு அமைப்பின் (Control panel) ஒரு பகுதியைப் படம் 9-19-ல் காணலாம்.

மிக உயர்ந்த ஆற்றலையுடைய சின்க்ரோட்ரான் புரூக்ஹேவன் தேசிய ஆய்வுக்கூடத்தில் மிக அண்மையில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. படங்கள் 9-20, 9-21-ல் காட்டப்பட்டுள்ள அந்த சின்க்ரோ



படம் 9-21

படம் 9-21. காந்தம் அமைக்கப்படுமுன் புரூக்ஹேவன் 30-Bev புரோட்டான் சின்க்ரோட்ரானின் சுரங்கத்தின் உள்தோற்றம், இடப்பக்கத்தில் உள்ள மூலை அறையில் புரோட்டான் செலுத்தி (proton injector) உள்ளது. (நன்றி: புரூக்ஹேவன் தேசிய ஆய்வுக்கூடம்)

ட்ரான் 840 அடி விட்டமும் புரோட்டான்களை ஏறத்தாழ 30-Bev அளவுக்கு முடுக்கக்கூடிய ஆற்றலும் பெற்றுள்ளது. அதையொத்த மற்றொரு முடுக்கி ஸ்விட்ஸர்லாந்து நாட்டில் ஜெனிவாவில் உள்ள அனைத்துலக CERN ஆய்வுக்கூடத்தில் உள்ளது. இதைப்போன்று இரு மடங்கு ஆற்றலையுடைய முடுக்கிகளை சோவியத் நாட்டிலும், ஸ்டேன்ஃபோர்டு பல்கலைக் கழகத்திலும் நிறுவுவதற்கான திட்டங்கள் முன்னரே தீட்டப்பட்டுவிட்டன.

மாதிரிக் கணக்கு

$B_{பெருமம்} = 8{,}000$ காஸ் எனில் 30-Bev புரோட்டான் சின்க்ரோட்ரான் ஒன்றின் விட்டம் எவ்வளவு இருக்கவேண்டும்?

சமன் 8–10-ன்படி

$$R = \frac{Mvc}{eB} \qquad (9\text{-}6)$$

முதலில் 30-Bev புரோட்டானின் சார்பியல் நிறையைக் காண $W = Mc^2$ என்னும் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்த வேண்டும். 30-Bev இயக்க ஆற்றலையுடைய புரோட்டானின் மொத்த ஆற்றல் 30-Bev + அதன் ஓய்வு ஆற்றல் 938 Mev = 30.938-Bev எனவே

$$M = \frac{30.938 \text{ Bev}}{c^2} = 5.5 \times 10^{-23} \text{ கி.}$$

M-ன் இம் மதிப்பையே சமன் 9-16-ல் பயன்படுத்த வேண்டும் மேலும் அத்தகைய புரோட்டன்கள் ஏறத்தாழ ஒளிவேகத்துடன் இயங்குவதால் v-க்கு c-ன் மதிப்பான 3×10^{10} செ.மீ/வி-ஐப் பயன்படுத்த வேண்டும். எனவே சமன் 9-6-ன்படி

$$R = \frac{(5.5 \times 10^{-23}) \times (3 \times 10^{10})^2}{(4.8 \times 10^{-10}) \times (8 \times 10^3)} \text{ செ.மீ.} = 1.29 \times 10^4 \text{ செ.மீ.} = 390 \text{ அடி.}$$

புவியின் விட்டத்தைத் தவிர சின்க்ரோட்ரான்களின் அளவுக்கோ ஆற்றலுக்கோ எல்லையே இல்லை என்பது தெளிவாகிறது. இத்தகைய உயர் ஆற்றல் முடுக்கிகளின் பயனை, 15, 16ஆம் இயல்களைக் கற்ற பின்னர், மிக நன்ருகப்புரிந்துகொள்ள முடியும். இத்தகைய முடுக்கிகளின் உதவியின்றி அடிப்படைத் துகள்களின் அடிப்படைப் பண்புகளையும் செயலெதிர்ச் செயல்களையும் ஆராய்வதென்பது முடியாத செயலாகும். உண்மையில் சில அடிப்படைத் துகள் உயர் ஆற்றல் முடுக்கிகளின் உதவியாலேயே முதன்முதலாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அடிப்படைத் துகள்களின் இத்தகைய அடிப்படைப் பண்புகளின் அடிப்படையிலேயே பௌதிகம் அமைந்துள்ளது.

கணக்குகள்

1. ஒரு மின்வாட்டு கருவி, ஒரு மின்விளக்கு ஆகியவற்றைப் பக்க இணைப்பு முறையில் இணைக்கும்பொழுது வாட்டுகருவி அதிக வெப்பத்தை உருவாக்குகிறது. அவற்றுள் எது அதிக மின்தடையைக் கொண்டுள்ளது ?

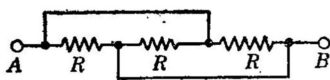
2. மின்புலத்தை வோல்ட்/செ.மீ அலகில் குறிக்கலாம். 1 வோல்ட்/செ.மீ மின்புலம் என்பது எத்தனை டைன்/ஸ்டேட்கூலம் ?

3. பின்வருவனவற்றுள் எது மின்னழுத்தத்திற்கான சரியான அலகல்ல: எர்க்/ஸ்டேட்கூலம், ஸ்டேட்வோல்ட், ஜூல்/ஆம்பி×வி,

டைன் × செ.மீ/ஸ்டேட்கூலம், ஸ்டேட்கூலம்/செ.மீ^{2} ?

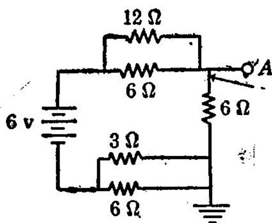
4. 3 செ.மீ இடைவெளியில் இரு இணைத் தகடுகள் வைக்கப் பட்டுள்ளன. அவற்றிற்கிடையே மின்புலம் 20 டைன்கள்/ஸ்டேட் கூலம். அவற்றிற்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு எத்தனை வோல்ட்டுகள் ?

5. அமெரிக்க டெலிவிஷனில் கிடைத்தள விரவல் அடுக்கம் (Sweep frequency) என்ன ?



கணக்கு 8

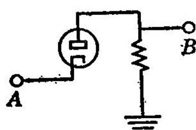
6. FM ஏற்பி ஒன்று 1 மைக்ரோ வோல்ட் (10^{6} வோல்ட்) வலிமை யுள்ள RF சைகை ஒன்றை ஏற்று 3 ஒத்த நிலைகளில் 10 வோல்ட்டுகளா கப் பெருக்குகிறது. ஒவ்வொரு நிலை யிலும் பெருக்கு எண் என்ன ?



கணக்கு 10

7. டையோடு ஒன்றில் கேதோடும் ஆனோடும் முறையே + 2, − 4 வோல்ட் டுகள் மின்னழுத்தத்தில் உள்ளன. கேதோடிலிருந்து 7 ev ஆற்றலுடன் ஒரு எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுமாயின் ஆனோடை அடையும்பொழுது அதன் இயக்க ஆற்றல் என்ன ?

8. கொடுக்கப்பட்டுள்ள படத்தில் A, B முனைகளுக்கிடையேயுள்ள மின் தடை என்ன ?



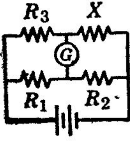
கணக்கு 11

9. செவியுறு அடுக்கப்பெருக்கி ஒன்று 6 ஓம் தடையுள்ள ஒலிப்பானுக்கு 10 வாட் மின்திறன் கொடுக்கிறது. ஒலிப்பானில் மின் னோட்டம் என்ன ?

10. கொடுக்கப்பட்ட படத்தில் 6 வோல்ட் மின்கலம் மொத்தம் 12 ஓம் அளவுள்ள மின் தடையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது.

(a) A-ல் மின்னழுத்தம் என்ன ?

(b) அம்புக்குறியால் காட்டப்பட்டுள்ள புள்ளியில் கம்பி அறுபடுமாயின் A-ல் மின்னழுத்தம் என்ன ?

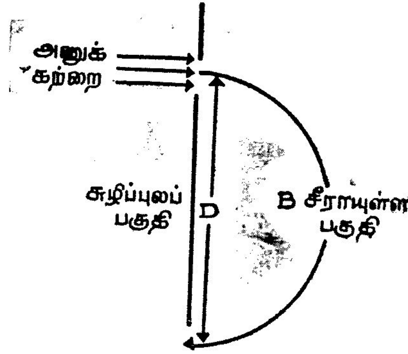


கணக்கு 12

11. அருகில் உள்ள படத்தில் A என்ற புள்ளிக்கு ஒரு a-c மின்னியக்குவிசை அளிக்கப்படுகிறது. B-ல் கிடைக்கக்கூடிய மின்னழுத்தத்தை நேரத்தின் சார்பலனாகக் குறிக்க.

12. கால்வனுமீட்டர் G வழியாக மின்னோட்டம் இல்லாதிருக்க R_1, R_2, R_3 ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் X-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

13. நிறைமாலைமானி (mass spectrometer) ஒன்றில் மின்னூட்டம் *e*, நிறை *M*, வேகம் *v* கொண்ட ஒரு அயனி *B* வலிமை



கணக்கு 13

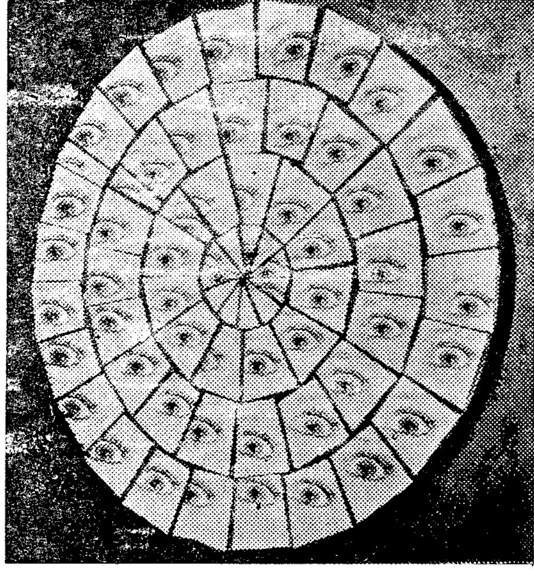
யுடைய சீரான காந்தப்புலம் ஒன்றில் அரைவட்டப் பாதையில் இயங்குகிறது. *e*, *v*, *c*, *B*, வட்டத்தின் விட்டம் *D* ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் நிறை *M*-ஐக் கணக்கிடுக.

14. மாறுத *B*-ஐக் கொண்ட ஒரு சிறு சைக்ளோட்ரானில் புரோட்டான்களை முடுக்குவதற்குத் தேவையான a-c மின்னியக்கு விசையின் அடுக்கம் 10^7 cps எனில்

(*a*) டியூட்ரான்களை முடுக்குவதற்குத் தேவையான அடுக்கம் என்ன ? ($M_D = 2M_H$; $= Z_D = 1$)

(*b*) ஒரு முறை அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட ஹீலியம் He^+-ஐ முடுக்கத் தேவையான அடுக்கம் என்ன ? ($M_{He} = 4M_H$)

(*c*) இருமுறை அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட ஹீலியம் He^{++}-ஐ முடுக்கத் தேவையான அடுக்கம் என்ன ? (இருமுறை அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட ஹீலியம் என்பது வெறும் ஹீலியம் அணுக்கரு மட்டுமே கொண்டது. அது ஆல்ஃபாத் துகள் எனவும் அழைக்கப்படுகிறது).



அலையியக்கமும் ஒளியும்
(Wave Motion and Light)

இயல் 10

அலையியக்கமும் ஒளியும்

10-1 மின்காந்த அலைகள்

வெளியிடத்திலும் காலப்போக்கிலும் E, B ஆகியவற்றின் அலைவுகள்

இப் பிரிவு 8ஆம் இயலின் தொடர்ச்சியாகும். பிரிவு 8-9-ல் மின்னூட்டம் ஒன்றின் எவ்வகை அலையியக்கமும் அதே அடுக்கத்தையுடைய மின்காந்த அலையை வெளிவிடும் எனக் கண்டோம். பிரிவு 8-9-ல் கூறப்பட்டுள்ளபடி ஒரு மின்காந்த அலையானது ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தா யமைந்த மின், காந்தப் புலங்களால் ஆனது. அது E, B ஆகியவற்றிற்கு நேர்குத்துத் திசையில் $c = 3 \times 10^{10}$ செ.மீ./வி என்ற திசை வேகத்துடன் பரவுகிறது. மேலும் E-ன் எண் மதிப்பு B-ன் எண் மதிப்புக்குச் சமமாக இருக்கும்.

மாதிரிக் கணக்கு

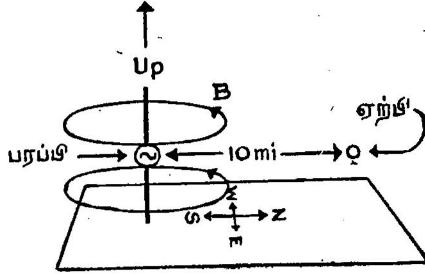
ரேடியோ நிலையம் ஒன்றின் பரப்பி அன்டென்ன (transmitting antenna) செங்குத்தாக நிறுத்தப்பட்டுள்ளது. பரப்பிலிருந்து 10 மைல் வடக்கில் உள்ள ஒரு புள்ளியில் மின்புலத்தின் பெரும மதிப்பு 10^{-3} வோல்ட்/செ.மீ. வெளிவிடப்படும் காந்தப்புலம் எத்தனை காஸ் வலிமையுள்ளது? எத்திசையிலுள்ளது?

வலக்கை விதிப்படி B கோடுகள் அன்டென்ன மின்னோட்டத்தைச் சுற்றிய வட்டங்களாக அமையும். படம் 10-1-ல் காட்டியுள்ளபடி பரப்பியின் வடக்கில் உள்ள புள்ளியில் B கோடுகள் கிழக்கு - மேற்குத் திசையில் இருக்கும். esu அலகில் E-ன் எண் மதிப்பும் காஸ் அலகில் B-ன் எண் மதிப்பும் சமமாகும். $E = 10^{-3}$

வோல்ட்/செ.மீ. $= \dfrac{10^{-3}}{300}$ ஸ்டேட் வோல்ட்/செ.மீ.

$$= 3.33 \times 10^{-6} \text{ esu.}$$

எனவே $B = 3 \cdot 32 \times 10^{-6}$ காஸ்

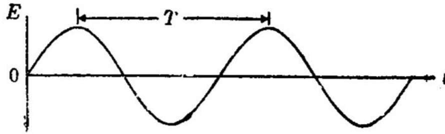


படம் 10-1

வெளிவிடப்பட்ட *B*-கோடுகளுடன் கூடிய செங்குத்து அன்டென்னு.

அலைநீளம்

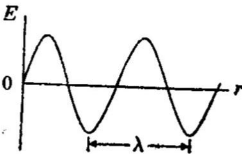
பரம்பி அன்டென்னுவில் உள்ள மின்னேட்டத்தை நேரத்தின் சார்பலனுகக் குறிப்போமாயின் அது வழக்கமாக படம் 10-2-ல்



படம் 10-2

வெளியிடத்தில் ஒரு புள்ளியில் உள்ள மின்புலம் நேரத்தின சார்பலனுகக் குறிக்கன்பட்டது.

காட்டியுள்ளவாறு ஒரு சைனியல் வளைகோடாக அமையும். வெளியிடத்தில் எந்த ஒரு நிலையான புள்ளியிலும் *E*-ன் மதிப்பும் நேரத்தைப் பொறுத்து படம் 10-2-ல் உள்ளது போலவே மாறும். இரு அடுத்தடுத்த அலைவுகளுக்கிடையே யுள்ள கால அளவு அலைவு நேரம் T எனப்படும். *E*-ன் மதிப்பு நேரத்தைப் பொறுத்து மாறுவதோடன்றி வெளியிடத்தில் அன்டென்னுவிலிருந்து தூரத்தைப் பொறுத்தும் மாறுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் அலையியக்கத் திசையில் அன்டென்னுவிலிருந்து உள்ள தூரத்தின் சார்பலனுக வரையப்பட்ட *E*-ன் மதிப்புப் படம் 10-3-ல் உள்ளதுபோல் அமையும். *E*-க்கும் அன்டென்னுவிலிருந்து உள்ள தொலைவான *r*-க்கும் இடையே வரையப்பட்ட வரைகோடும் ஒரு சைன் அலையே-யாகும். இரு அடுத்



படம் 10-3

ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் அலையியக்கத் திசையில் *E*-ன் மதிப்பு

அடுத்த அலைவுகளுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு அலைநீளமாக (λ) வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு அலைவின்போது அலைகடந்த தொலைவு(λ), ஒரு வினாடியில் அலைவுகளின் எண்ணிக்கை(அடுக்கம் frequency f) ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலன் ஒரு வினாடியில் அலை கடந்த தொலைவைக் குறிக்கும். இப் பண்பு மின்காந்த அலைகள், நீர் அலைகள், ஒலி அலைகள் போன்ற எத்தகைய அலையியக்கத் திற்கும் உள்ள பொதுப் பண்பாகும். எனவே

$\lambda f =$ ஒரு வினாடியில் கடந்த தொலைவு.

ஆனால் ஒரு வினாடியில் கடந்த தொலைவு அலையின் திசைவேகம் v ஆகும். எனவே

$$\lambda f = v \text{ (அலைத்திசை வேகம்)} \quad (10\text{-}1)$$

மின்காந்த அலைகளுக்கு

$$\lambda f = c \quad (10\text{-}2)$$

மாதிரிக் கணக்கு

அமெரிக்காவில் FM அடுக்கப்பட்டையானது 100 மெகா சுற்றுக்கள் அளவில் அமைந்துள்ளது. FM அன்டென்ன ஒன்றின் ஒவ்வொரு புயமும் கால் அலை நீளமுள்ளதாக இருக்கவேண்டு மாயின் அன்டென்னவின் மொத்த நீளம் என்ன?

சமன் 10-2-ன்படி

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^{10}}{100 \times 10^{6}} = 300 \text{ செ.மீ.}$$

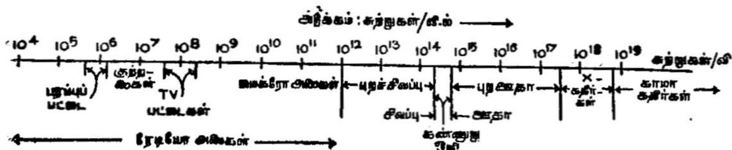
$$\frac{\lambda}{4} = 75 \text{ செ.மீ.}$$

எனவே ஒவ்வொரு புயமும் 75 செ.மீ. அல்லது 30 அங். நீள முள்ளதாக இருக்கும்.

10-2. மின்காந்த அலைமாலை (Electromagnetic spectrum)

ஒளிவகைகள் யாவுமாம்

தத்துவ ரீதியாக மின்காந்த அலைகள் சுழிமுதல் வரம்பிலி வரையுள்ள எந்த அடுக்கத்தையும் பெற்றிருக்கலாம். அடுக்கத்



படம் 10-4

மின்காந்த அலைமாலை

திற்கேற்ப மின்காந்த அலைகளின் பாகுபாடு மின்காந்த அலைமாலை எனப்படும். இதனைப் படம் 10-4-ல் காணலாம். வினடிக்குப் பல சுற்றுக்கள் கொண்ட குறைந்த அடுக்க மின்காந்த அலைகளால் எவ்விதப் பயனும் கிடையாது. எனவே, அவற்றை விரும்பி உற்பத்தி செய்வதில்லை. எனினும், a-c மின்சாரம் தாங்கிச் செல்லும் கம்பிகள் a-c அடுக்க (60 சுற்றுக்கள்/வி) மின்காந்த அலைகளை வெளிவிடுவதைத் தவிர்க்க முடியாது. அத்தகைய மின் காந்த அலை வெளியீடுகள் திறன் இழப்பாகவேக் கருதப்படு கின்றன. அத்தகைய அலைகளைக் கார் ரேடியோக்களின் உதவி யால் அவை உயர் மின்னழுத்தக் கம்பிகளின் அருகில் செல்லும் பொழுது கண்டுணரலாம். ஒரு வினடிக்கு பல்லாயிரக்கணக்கான சுற்றுக்களுக்கு மேற்பட்ட அடுக்கங் கொண்ட மின்காந்த அலைகள் ரேடியோ அலைகள் எனப்படுகின்றன. ரேடியோ அலைகளில் பரப் புப் பட்டை ஒரு மெகா சுற்றுக்கள் பகுதியில் உள்ளது. UHF (உயர் மிகை அடுக்கம் – Very high frequency) டெலிவிஷன் பட்டை ஏறத் தாழ 50 மெகா சுற்றுக்களிலிருந்து தொடங்குகிறது. அடுத்து UHF (உறுமிகை அடுக்கம் - Ultra high frequency) பட்டையும் அடுத்து SHF (மீமிகை அடுக்கம் - Super high frequency), EHF (உயர் மீமிகை அடுக்கம் - Extremely high frequency) பட்டைகளும் உள்ளன. இங்கிலாந்தில் VHFI (உறுமீமிகை - Very high fre quency indeed) என்ற பட்டையும் உள்ளது. எலெக்ட்ரானியல் அலைப்பான்களால் (Oscillators) உருவாக்கப்படும் மிக உயர்ந்த அடுக்க அலைகள் மைக்ரோ அலைகள் (Microwaves) எனப்படும். அவற்றின் அலைநீளங்கள் ஒரு சில சென்டி மீட்டர்கள் அல்லது மில்லி மீட்டர்களே இருக்கும்.

அவற்றைவிட அதிக அடுக்க மின்காந்த அலைகளையும் மூலக் கூறு அல்லது அணு அலைகளின் மூலம் உருவாக்கலாம். காட்டாக, ஹைடிரஜன் வாயுவைப் போதிய அளவு உயர்ந்த வெப்பநிலைக்குச் சூடேற்றுவோமாயின் ஒரு ஹைடிரஜன் மூலக்கூறிலுள்ள இரு அணுக்களும் முன்னும் பின்னுமாக சீரிசை இயக்கத்தில் எளிதில் அலைவுற்று அதே அடுக்கத்தையுடைய மின்காந்த அலைகளை வெளி விடுகின்றன. இந்த அடுக்க மதிப்பை 3ஆம் இயலில் 28-வது கணக்கில் கொடுக்கப்பட்ட குறிப்புக்களிலிருந்து பெறலாம். அம் மதிப்பு $f=4.9\times10^{13}$ சுற்றுக்கள்/வி ஆகும். படம் 10-4-ல் உள்ள மின்காந்த அலைமாலையின்படி இத்தகைய அலைவீச்சு புறச்சிவப்புப் பகுதியாகும். 4.3×10^{14} cps (சுற்றுக்கள்/வி - Cycles per sec) முதல் 7×10^{14} cps வரையுள்ள அடுக்கப் பகுதியிலுள்ள மின்காந்த அலைகளை கண்ணால் கண்டுணரலாம். அப்பகுதி கண்ணுறு ஒளி (Visible light) எனப்படும். இப்பகுதியின் சிறும அடுக்கம் சிவப்

பாகவும் பெரும அடுக்கம் ஊதாவாகவும் தோன்றுகின்றன. 7×10^{14} cps ஐவிட அதிக மதிப்புள்ள அடுக்கங்கள் கண்ணுக்குத் தெரிவதில்லை. அத்தகைய அடுக்கங்களில் 5×10^{17} cps வரை உள்ள பகுதி புற ஊதாப் பகுதி (Ultraviolet region) என அழைக்கப்படுகிறது. 5×10^{17} cps முதல் ஏறத்தாழ 10^{19} cps வரையுள்ள அடுக்கங்கள் X கதிர்கள் எனவும் அதற்கும் மேற்பட்ட அடுக்கங்கள் காமாக் கதிர்கள் எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. இதுவரை காணப்பட்டவற்றுள் மிக உயர்ந்த ஆற்றலுள்ள காமாக் கதிர்கள் காஸ்மிக் கதிர்களில் (இயல் 15) உள்ளன. X கதிர்கள், காமாக் கதிர்கள் ஆகியவற்றின் உற்பத்தியைப்பற்றி 12, 13, 15 ஆம் இயல்களில் காணலாம்.

10-3 குறுக்கீடு

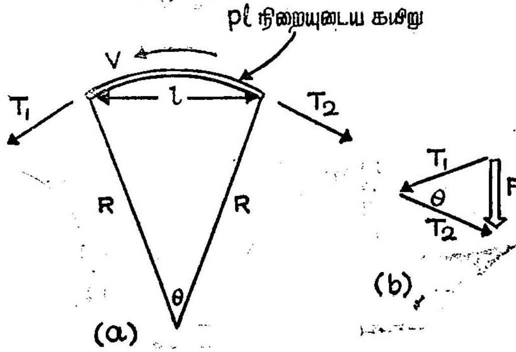
எதிரின நேரின இடையீடு (Negetive meets positive)

கண்ணுக்குத் தெரியாத மின்காந்த அலையின் இயக்கத்தைவிட இழுத்துப் பொருத்தப்பட்ட கயிறு ஒன்றின் வழியே உருவாக்கப்பட்ட அலையின் இயக்கத்தைக் காண்பது எளிதாகையால் முதலில் கம்பி ஒன்றின் வழியே பரவும் அலைகளின் பொதுப்பண்புகளை ஆராய்வோம். கம்பியின் வழியே அலையின் திசைவேகமானது கயிற்றின் இழுவிசை T, ஓரலகு நீளக்கம்பியின் நிறை ρ ஆகியவற்றை மட்டுமே சார்ந்துள்ளது. அலைவேகத்திற்கான வாய்பாடு கயிற்றின் வழியே அலைவேகம்

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} \qquad (10\text{-}3)$$

ஆகும். CGS முறையில் T டைன்களிலும் ρ கி/செ.மீ^{3} அலகுகளிலும் உள்ளன. இந்த வாய்பாட்டை அலையுடன் இயங்கும் கட்டமைப்பில் எளிதில் பெறலாம். அத்தகைய கட்டமைப்பில் உள்ள ஒருவருக்கு அலை நிலையானதாகவும் கயிறு எதிர்த்திசையில் v என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்குவதுபோன்றும் தோற்றமளிக்கும். அவருக்கு ஒரு அலையின் முகடு படம் 10-5-ல் உள்ளதுபோல் தோற்றமளிக்கும். கயிற்றின் l நீளமுள்ள பகுதி R ஆரமுடைய வளைவின் வழியே v என்ற அலைவேகத்துடன் இடப்பக்கம் நோக்கி இயங்கும். கயிற்றின் இந்த நீளத்தில் செயற்படும் நிகரவிசை(F)யை படம் 10-5b-ல் காட்டியுள்ளவாறு T_1T_2 ஆகிய வெக்டர்களைக் கூட்டுவதன் மூலம் பெறலாம். கயிற்றின் இப்பகுதியின் நிறை $M = \rho l$ என்றால் நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி

$$F = Ma$$



படம் 10-5

கயிற்றில் ஒரு அலையின் முகடு (a) அலைவேகத்துடன் அதே திசையில் கயிற்றின் வழியே செல்லும் ஒருவருக்குக் கிடைக்கும் தோற்றம் (b), படம் (a)-ல் உள்ள கயிற்றின் நீளத்தில் செயற்படும் நிகர விசை.

முடுக்கம் a என்பது மையநோக்கு முடுக்கம் $a = v^2/R$. எனவே

$$F = \rho l \frac{v^2}{R} \tag{10-4}$$

l-ன் சிறு மதிப்புக்களுக்கு 10-5b-ல் உள்ள விசை முக்கோணம் 10-5a-ல் உள்ள முக்கோணத்தை ஒத்திருக்குமாதலால்

$$\frac{F}{T} = \frac{l}{R}$$

அல்லது $F = \dfrac{l}{R} T$

F-ன் இம் மதிப்பைச் சமன் 10-4-ன் இடது புறத்தில் பதிலீடு செய்வோமாயின்

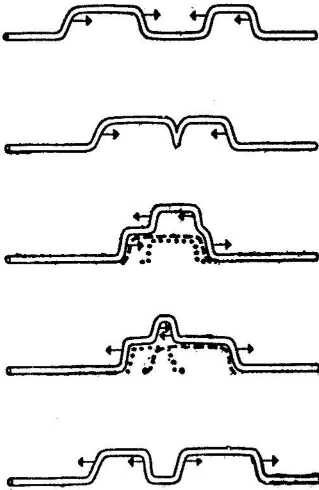
$$\frac{l}{R} T = \rho l \frac{v^2}{R}$$

$$T = \rho v^2$$

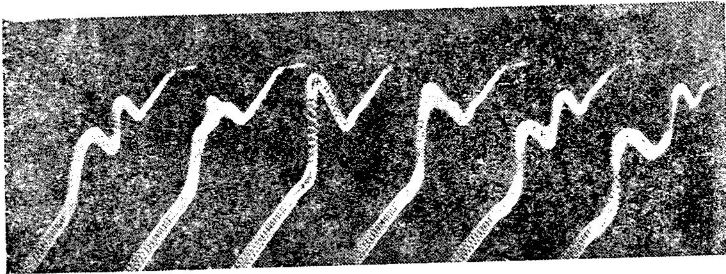
எனவே $v = \sqrt{\dfrac{T}{\rho}}$

கயிற்றின் ஒரு முனையை (சாட்டையைச் சொடுக்குவது போல்) திடீரென அசைத்தால் ஒற்றைத் துடிப்பு ஒன்று கயிற்றின்

வழியே v என்ற திசைவேகத்துடன் செல்லும். அதே நேரத்தில் கயிற்றின் அடுத்த முனையில் மற்றொருவர் ஒரு துடிப்பை உருவாக்குவதாகக் கொள்வோம். கயிற்றின் மையத்தில் இரு துடிப்புகளும் சந்திக்குமாயின் என்ன நிகழும்? அவையிரண்டும் ஒன்றையொன்று குறுக்கிட்ட பின்னர் தத்தம் திசைகளிலேயே படங்கள் 10-6, 10-7 ஆகியவற்றில் காட்டியுள்ளவாறு தொடர்ந்து செல்லும். இயங்கும் அலைகளின் இத்தகைய தன்னுரிமைப் பண்பு(Independence) மேற்பொருந்து தத்துவம் (principle of super-position) எனப்படும். இத் தத்துவத்தின்படி தொகுபயன் அலை வீச்சானது தனித்தனி அலைகளின் வீச்சுக்களின் குறியியல் கூட்டுத் தொகையாகும். இத் தத்துவமானது தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி, முடுக்கம், விசை என்பவை முறையே தனித்தனி இடப்பெயர்ச்சிகள், முடுக்கங்கள், விசைகள் ஆகியவற்றின் குறியியல்கூட்டுத் தொகை என்ற கருத்தின் விளைவே

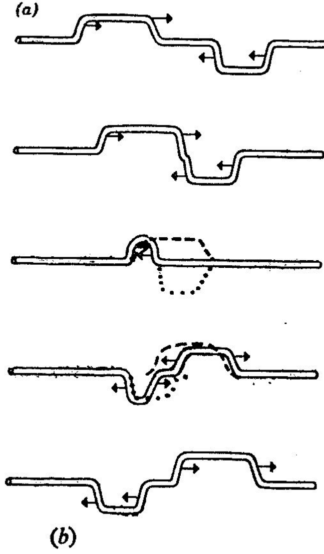


(b)

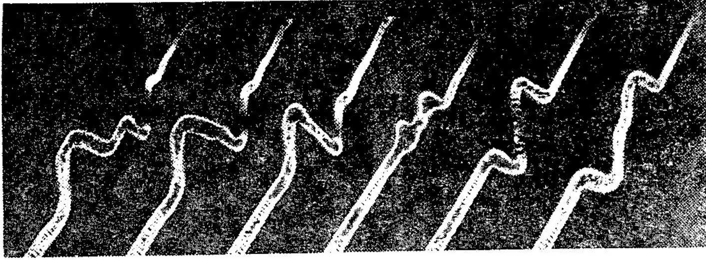


படம் 10-6

ஒரு கயிற்றில் இரு முகடுகள் ஒன்றையொன்று குறுக்கிடுதல். குறுக்கீட்டுப் பகுதியில் இடப்பக்கம் நோக்கிச் செல்லும் அலை புள்ளிக்கோட்டாலும் வலப்பக்கம் நோக்கிச் செல்லும் அலை கீற்றுக்கோட்டாலும் (dashed line) குறிக்கப்பட்டுள்ளன. (b) சுருள் கம்பி ஒன்றைக்கொண்டு எடுக்கப்பட்ட இரு முகடுகளின் குறுக்கீட்டு விளைவின் நிழற்படம் (நன்றி: இயற்பியல் ஆய்வுக்குழு).



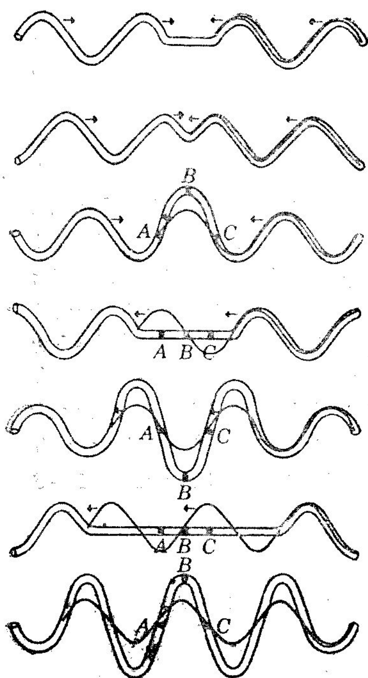
யாகும். தொகுபயன் மின், காந்தப் புலங்கள் தனித்தனி புலங்களின் கூட்டுத் தொகைகளாதலால் இந்த மேற்பொருந்து தத்துவம் மின் காந்த அலைகளுக்கும் பொருந்த வேண்டும். அலைகள் இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்க்குறியுடையனவாயிருப்பின் அவை குறுக்கிடும் பொழுது ஒன்றையொன்று அழிக்க முயலுகின்றன என்பதைப் படம் 10-7*a*, 10-7*b* ஆகியவற்றிலிருந்து அறியலாம். தனித் துடிப்புகள் மட்டுமின்றி தொடர்ச்சியான சைன் அலைகளையும் ஒன்றையொன்று அழிக்குமாறு செய்யலாம். படம் 10-8



படம் 10-7

ஒரு கயிற்றில் ஒரு அகடும் முகடும் குறுக்கிடுதல். குறுக்கீட்டுப் பகுதியில் அவை ஒன்றையொன்று அழிக்க முயலுகின்றன. (*b*) சுருள் கம்பி ஒன்றில் அகடும் முகடும் குறுக்கிடுவதற்கு நிழற் படம் (நன்றி:இயற்பியல் ஆய்வுக்குழு).

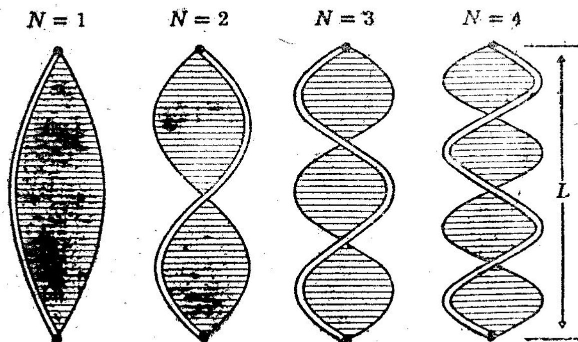
ஒரு கயிற்றின் இருமுனைகளிலிருந்தும் தொடங்கும் இரு சைன் அலைகள் ஒன்றையொன்று குறுக்கிடுவதைக் காட்டுகிறது. இரு அலைகளும் குறுக்கிட்ட பின்னர் ஒன்றின் மீதொன்று பொருந்தும் போது கயிற்றில் கண்ணிகளும் (loops) கணுக்களும் கொண்ட நிலை அலைகள் உருவாவதைக் காணலாம். கணுக்கள் எனப்படும் *A*, *C* ஆகிய புள்ளிகள் எப்போதும் நிலையாக உள்ளன. கண்ணி அல்லது எதிர்க்கணு எனப்படும் *B* புள்ளி பெரும வீச்சுடன் அலைவுறுகிறது. அடுத்தடுத்து இரு கணுக்கள் அல்லது எதிர்க் கணுக்களிடையே உள்ள தொலைவு அரை அலை நீளம் என்பதைக் காணலாம்.



படம் 10-8

ஒருகயிற்றின் இரு முனைகளிலிருந்து தொடங்கும் இரு சைன் அலைகளின் தொடர் நிகழ்ச்சி. இடப்புறம் இயங்கும் அலைமட்டும் இருக்குமாயின் கயிறு சிவப்புக் கோட்டின் வழியே இயங்கும். சைன் அலைகள் குறுக்கிட்ட பின்னர் கணுக்கள் எனப்படும் A, C ஆகிய புள்ளிகள் நிலையாக உள்ளன.

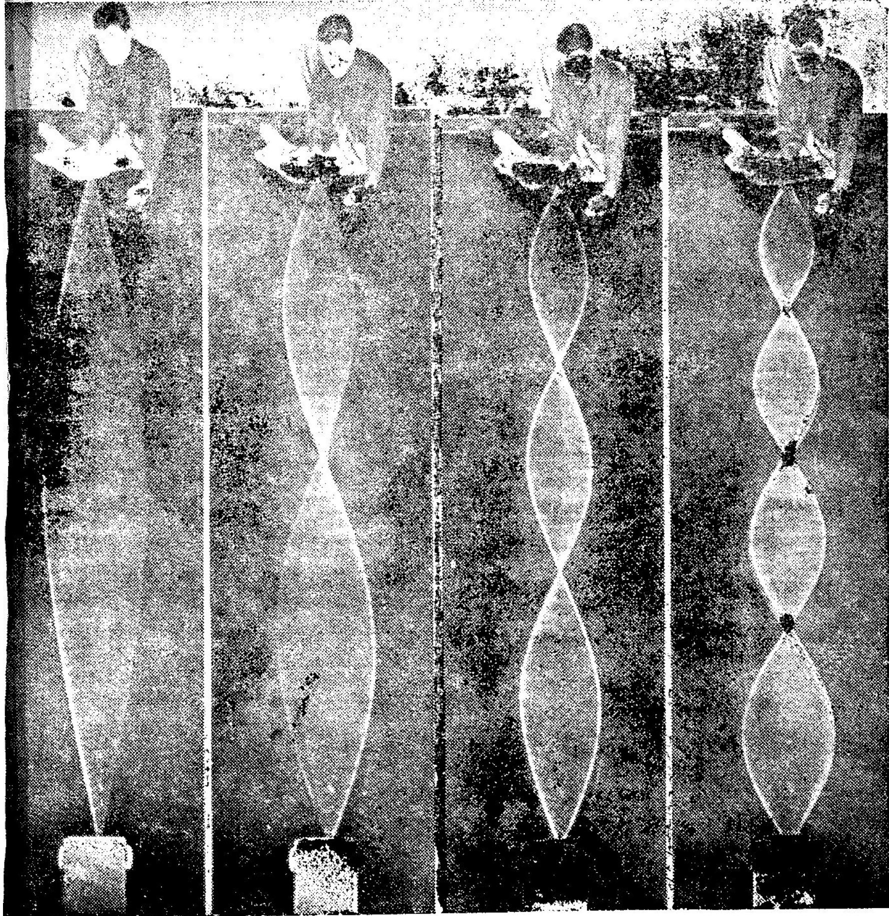
இரு முனைகளிலும் இழுத்துப் பொருத்தப்பட்ட ஒரு கயிற்றை அதிர்வித்தால் படங்கள் 10-9, 10-10-ல் காட்டியுள்ள நிலை



படம் 10-9

இரு முனைகளிலும் பொருத்தப்பட்ட L நீளமுள்ள கயிற்றில் உருவாகக் கூடிய நான்கு வகை நிலை அலைகள். தடித்த கோடுகள் கயிறு அதன் பெரும இடப்பெயர்ச்சியைப் பெற்றிருக்கும்போது அதன் நிலையைக் குறிக்கிறது. நிழலிடப்பட்ட பகுதிகள் கயிறு கடந்து செல்லும் பகுதிகளைக் குறிக்கிறது.

அலைகள் உருவாக்கப்படும். தொடக்கத்தில் உருவாக்கப்பட்ட அலைகள் இரு முனைகளிலும் பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன. இரு முனை களிலும் கணுக்கள் இருக்கவேண்டுமாதலால் முகடு அகடாகவும் அகடு முகடாகவும் பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன.



படம் 10-10

அலைவுறும் கம்பி ஒன்றில் உள்ள நிலை அலைகளின் நிழற்படம். கயிற்றின் இழு விசையைக் குறைப்பதன் மூலம் நிலை அலைகளின் எண்ணிக்கையை அதிகமாக்கலாம் (நன்றி: இயல்பியல் ஆய்வுக்குழு)

மாதிரிக் கணக்கு

கிதார் கம்பி ஒன்று 30 செ.மீ. நீளமும் 100 கி. நிறையும் கொண்டுள்ளது. 256 cps அடுக்கத்திற்கு அதனைச் சுதி கூட்டத் தேவையான இழுவிசை என்ன?

சமன் 10-3-ன்படி இழுவிசை

$$T = \rho v^2 \quad (10\text{-}5)$$

இங்கு ρ = 100 கி./30 செ.மீ. அல்லது ρ = 3.33 கி./செ.மீ. $v = \lambda f$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து v-ன் மதிப்பைக் காணலாம். கம்பிமூலச் சுரத்தில் (Fundamental mode) அலைவுறும்போது படம் 10-ன்படி $\lambda/2 = L$ அல்லது λ = 60 செ.மீ. எனவே v = 60 செ. மீ. × 256 சுற்றுக்கள்/வி = 1.536×10^4 செ.மீ./வி v-ன் இம் மதிப்பைச் சமன் 10-5-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$T = 3.33\,(1.536 \times 10^4)^2 \text{ டைன்கள்}$$
$$= 7.85 \times 10^8 \text{ டைன்கள்}$$

இவ்விசையானது மெல்லிய கம்பி ஒன்றினுல் தாங்கமுடியாத அளவுக்குச் சற்றுப் பெரிய விசையாகும். இதன் காரணமாய் இசைக் கருவிகளின் கம்பிகள் வழக்கமாக வலிமை மிக்க உலோகக் கலவைகளால் செய்யப்படுகின்றன.

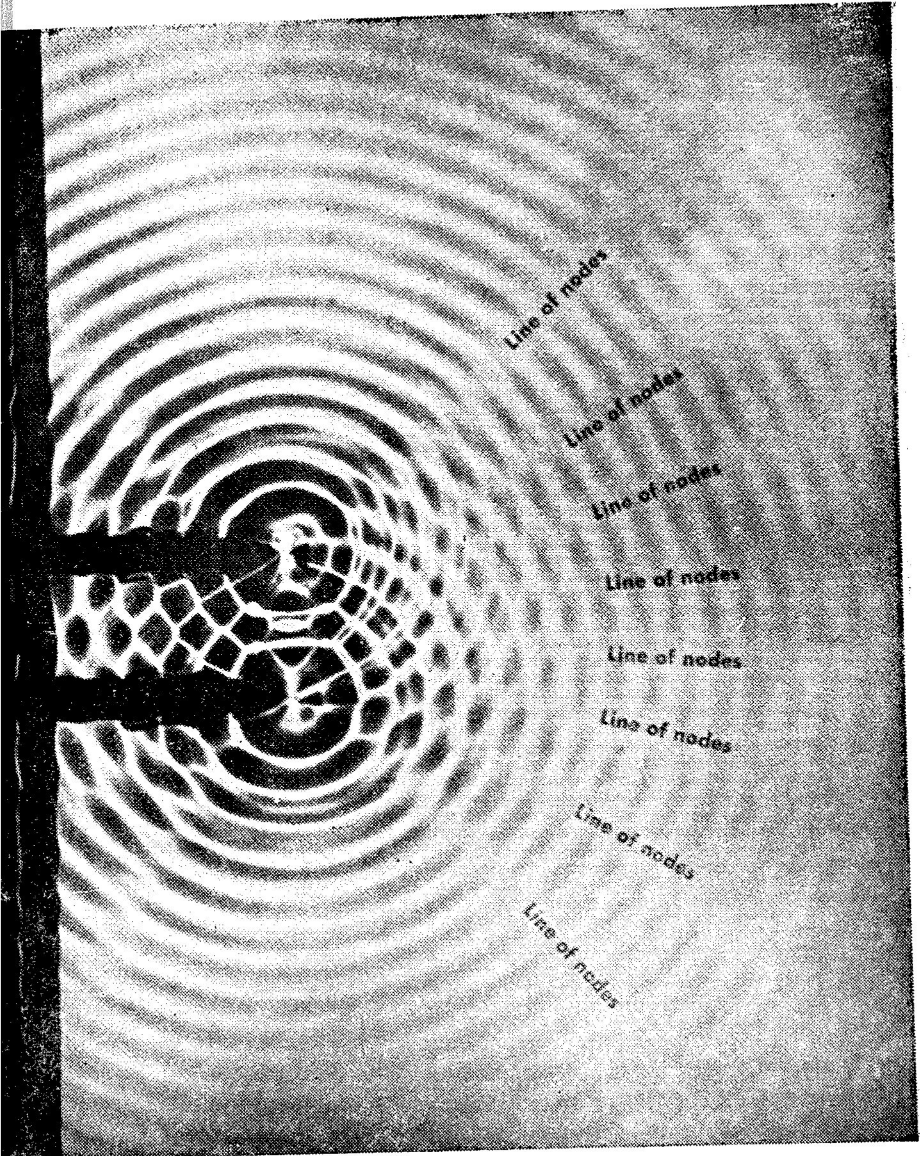
காற்றுக் கருவிகள் முழுவதுமாகவோ, ஓரளவோ அடைபட்ட காற்றுத் தம்பத்தைப் பயன்படுத்துகின்றன. அடைபட்ட காற்றினுள் (வழக்கமாகக் காற்றை ஊதுவதன்மூலம்) அழுத்தக் கிளர்ச்சியை (Pressure disturbance) ஏற்படுத்துவதன்மூலம் நிலை அலைகளை உருவாக்கலாம். இங்கு படம் 10-9-ல் காட்டப்பட்டுள்ள வளை கோடுகள் காற்று மூலக்கூறுகளின் இடப்பெயர்ச்சிகளைக் குறிக்கின்றன: நிலை அலைகள் உருவாவதற்கான பொது நிபந்தனை என்னவெனில் L என்ற நீளத்தில் முழு எண்ணிக்கையுள்ள அரை அலை நீளங்கள் இருக்கவேண்டும். அதாவது

$$N\left(\frac{\lambda}{2}\right) = L \text{ (நிலை அலைகளுக்கான நிபந்தனை)} \quad (10\text{-}6)$$

N என்பது சுழியைவிடப் பெரிய ஏதேனும் ஒரு முழு எண்.

பரப்பு அலைகள் (surface waves)

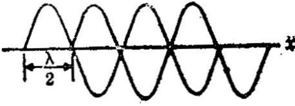
குறுக்கீட்டு விளைவுகள் (interferenee effects) ஒற்றைப் பரிமாண கயிற்றிலன்றி இரட்டைப் பரிமாண ஊடகங்களிலும் ஏற்படலாம். நீர்ப்பரப்பில் ஏற்படும் அலையியக்கம் இரட்டைப் பரிமாண அலையியக்கத்திற்குரிய ஒரு சாதாரண எடுத்துக் காட்டாகும். படம் 10-11-ல் ஒத்திவைக்கப்பட்ட (synchronised) அதிர்வுகளைக்கொண்ட இரு கருவிகளால் உருவாக்கப்பட்ட நீர்



படம் 10-11

நீர்ப்பரப்பில் தாளமிடும் இரு ஒத்திசைவு அதிரிகளால் (vibrator) உருவாக்கப்பட்ட நீரலைகளின் குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் (நன்றி: இயற்பியல் ஆய்வுக்குழு).

அலைகள் குறுக்கிட்டு மிகவும் பொருத்தமான குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தை அமைக்கின்றன. கணுக்கோடுகள் (lines of nodes) எனப்படும் நிலையான கோடுகள் வழியே அலைவீச்சு சுழியாயிருப்பதைக் காணலாம். கயிற்றின் மீதுள்ள அலைகளைப்போலவே ஒரு அலையின் முகடும் மற்றொரு அலையின் அகடும் சந்திக்கும் இடங்களில் கணுக்கள் உருவாகின்றன. இரு கருவிகளின்றும் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியின் பாதை வேறுபாடு அரை அலை நீளமாக இருப்பின் மேற் கூறப்பட்ட நிகழ்ச்சி ஏற்படும் என்பது தெளிவாகிறது. இரு சைன் அலைகளுக்கிடையே அரை அலை அளவு இடப்பெயர்ச்சி இருப்பின் படம் 10-12-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளதுபோல் அவற்றின் கூட்டுத்தொகை சுழியாகும். பாதை வேறுபாடு $N\lambda$ (N என்பது ஒரு முழு எண்) எனில் அலைகள் இண்டும் ஒன்றையொன்று ஊக்குவித்து பெருமச் செறிவை ஏற்படுத்தும். இது ஆக்கக் குறுக்கீடு (constructive interference) எனப்படும். படம் 10-11-ல் உள்ள நீர் அலைகளின் கணுக் கோடுகள் படம் 10-13-ல் வரையப்பட்டுள்ளன.



படம் 10-12

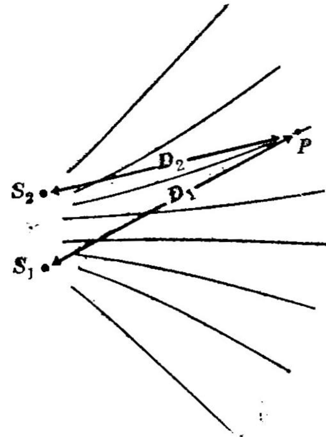
ஒன்றுக்கொன்று அரை அலை நீள இடப் பெயர்ச்சியுடைய இரு சைன் அலைகள், குறுக்கீட்டுப் பகுதியில் x-ன் எம் மதிப்புக்கும் இரு வீச்சுக்களின் கூட்டுத் தொகை சுழியாகும்.

பெருமச் செறிவுக்கான பொது நிபந்தனை

$D_1 - D_2 = N\lambda$ (பெருமச் செறிவுக்கான நிபந்தனை) (10-7)

சிறுமச் செறிவு அல்லது கணுக் கோடுகளுக்கான நிபந்தனை

$D_1 - D_2 = (N + \lambda$ (சிறுமச் செறிவுக்கான நிபந்தனை) (10-8)



படம் 10-13

படம் 10-11-ல் உள்ள கணுக் கோடுகளின் படம். இப்படத்தில் P என்ற புள்ளியில் பாதை வேறுபாடு $D_1 - D_2 = 3/2\ \lambda$

மாதிரிக் கணக்கு

பல்திசை ஒலி *hi-fi* அமைப்பின் (Stereo hi-fi system) இரு ஒலிப்பான்களிலிருந்தும் சம தொலைவுகளில் உள்ள ஒருவர் தனிச்சுரம் ஒன்றைக் கேட்கிறார். அச்சுரத்தின் ஒலி சிறுமம் ஆகும்வரை அவர் பக்கவாட்டில் நகருகிறார். அந்நிலையில் அவர் இடப்பக்க ஒலிப்பானிலிருந்து 10 அடி தொலைவிலும் வலப்பக்க

ஒலிப்பானிலிருந்து 8 அடி தொலைவிலும் உள்ளாரெனின் தனிச் சுரத்தின் அடுக்கம் என்ன? ஒலியின் வேகம் 1100' அடி/வி.

சமன் 10-8-ன்படி முதல் சிறுமத்திற்கான நிபந்தனை

$$D_1 - D_2 = \frac{1}{2}\lambda$$

இங்கு $D_1 - D_2 = 2$ அடி ஆதலால் $\lambda = 4$ அடி. சமன் 10-1-ன் படி அடுக்கம்

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1100}{4} \text{ cps}$$

$$f = 275 \text{ cps}$$

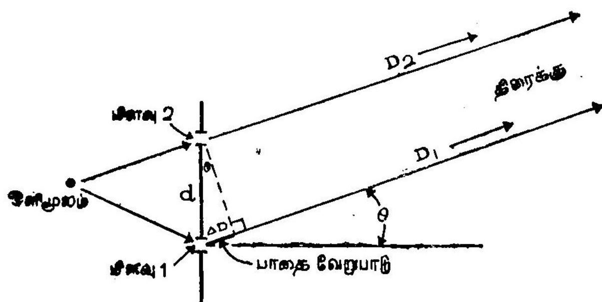
10-4. இரட்டைப் பிளவுக் குறுக்கீடு (Double slit interference)

ஒளியின் அலைமையை நிறுவுதல் (Proof of the wave nature of light)

1800ஆம் ஆண்டில் மேலோங்கி நின்ற ஒளித்தத்துவம் ஐஸக் நியூட்டனால் உருவாக்கப்பட்ட துகள் கொள்கையேயாகும். அக் கால விஞ்ஞானிகளுள் நியூட்டனின் கொள்கைகளை எதிர்க்குமள வுக்கு துணிவுள்ளவராக தாமஸ் யங் (Thomas young) என்பவர் விளங்கினார். ஒலியைப்போன்று ஒளியும் அலைப்பண்புடையதா யிருக்க வேண்டும் என்று அவர் எண்ணினார். அவரது எண்ணம் சரியாக இருப்பின் படம் 10-11-ல் உள்ள நீரலைப்பாங்கத்தைப் போன்றதொரு பாங்கத்தை ஒளி அலைகளைக்கொண்டும் உருவாக்க முடியும் என அவர் வாதிட்டார். அதற்கென தேவைப்பட்ட இரட்டை ஒளித்தோற்றுவாய்க்கென ஒரே விளக்கால் ஒளியூட்டப் பட்ட நுட்பமான இரட்டைப் பிளவொன்றைப் பயன்படுத்தினார். 1803-ல் முதன் முதலாக குறுக்கீட்டு வரிகள் பலவற்றை அவர் பெற்றார். ஆனால் ஒளியின் துகள் கொள்கையின்படி திரையின்மீது பிளவைகளின் பிம்பங்கள் மட்டுமே காணப்படவேண்டும். யங்கின் புகழ்பெற்ற இச்சோதனையின் தத்துவம் படம் 10.14-ல் விளக்கப் பட்டுள்ளது. அச் சோதனையில் பெறக்கூடிய குறுக்கீட்டு வரிகள் படம் 10-15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

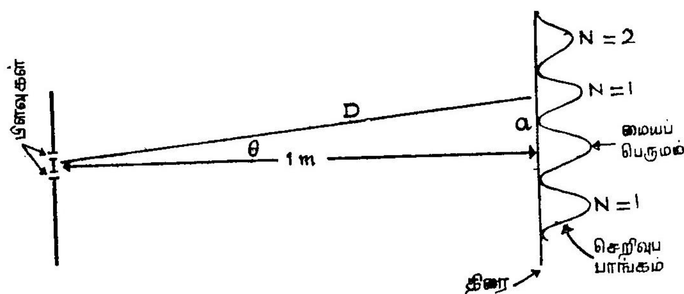
வரிகளின் மையங்கள் $(D_1 - D_2) = N\lambda$ என்ற பாதை வேறு பாடுகளுக்குரிய செறிவுப் பெருமங்களாகும். இப் பாதை வேறு பாடு படம் 10-14-ல் உள்ள சிறிய செங்கோண முக்கோணத்தின் ΔD என்று குறிப்பிட்ட பக்கம். எனவே செறிவுப் பெருமத் திற்கான நிபந்தனை :

$$\frac{\Delta D}{d} = \frac{N\lambda}{d}$$



படம் 10-14

யங்கின் இரட்டைப் பிளவுச் சோதனையின் மிகவும் பெரிதாக்கப்பட்ட தோற்றம். பிளவிடைத் தூரம் d, வழக்கமாக ஒரு மில்லி மீட்டருக்கும் குறைவாகவே இருக்கும். திரைக்குள்ள தூரமோ இது பக்கத்தின் அகலத்தைப்போல் பலமடங்கு இருக்கும்.



படம் 10-16

இரட்டைப் பிளவினின்றும் 1 மீ. தொலைவில் உள்ள திரையில் செறிவுப் பாங்கம்

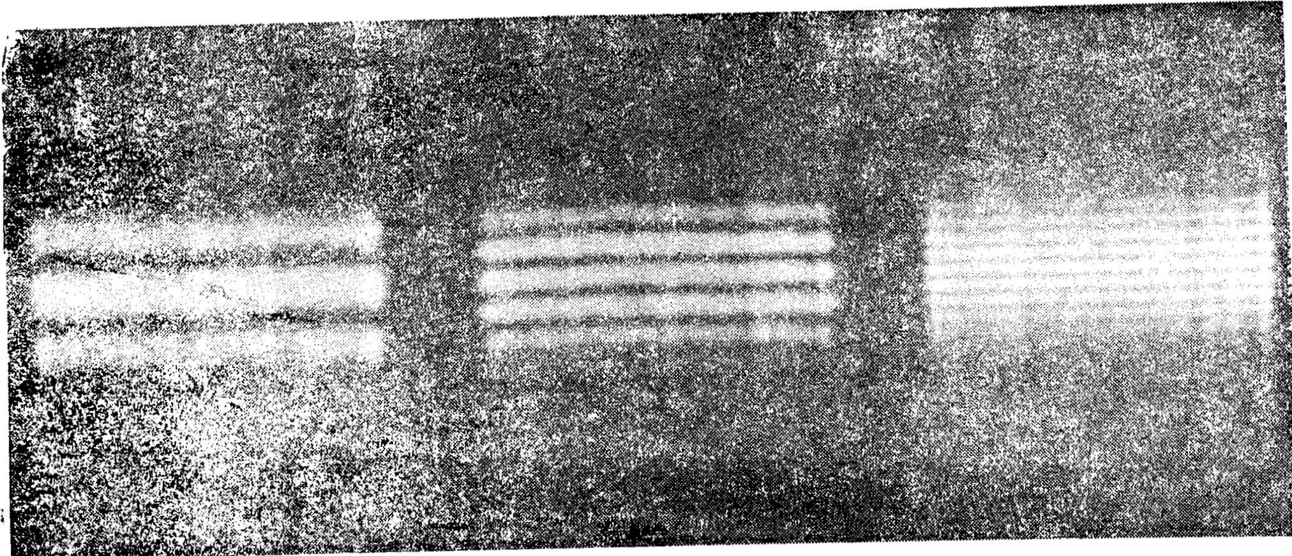
ஒரு கோணத்தின் சைனுக்குரிய வரையறைப்படி மேற்கண்ட சமன்பாட்டின் இடப்பக்கம் சிறிய செங்கோண முக்கோணத்தின் θ என்ற கோணத்தின் சைன் ஆகும். எனவே குறுக்கீட்டுப் பெருமம் ஒன்றுக்குரிய நிபந்தனை:

$$\sin\theta = \frac{N\lambda}{d} \tag{10-9}$$

ஆகும்.

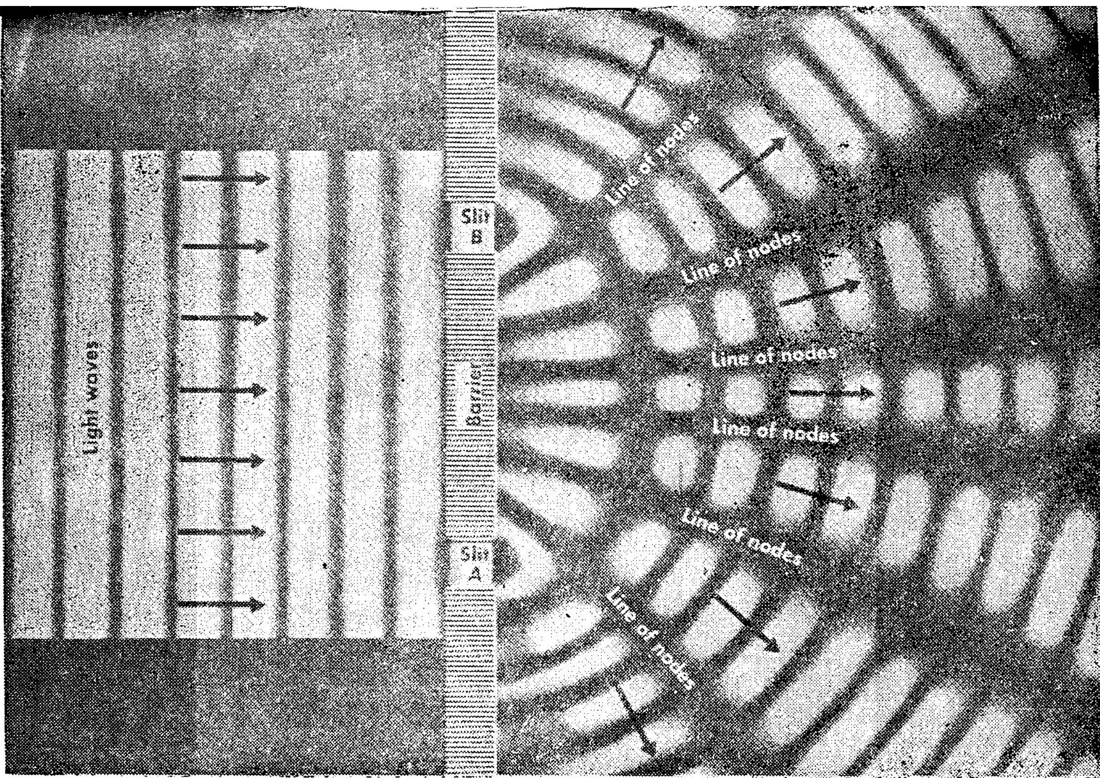
மாதிரிக் கணக்கு

சோடியம் (அல்லது சாதாரண உப்பு) சூடேற்றப்படும் பொழுது $\lambda = 5.89 \times 10^{-5}$ செ.மீ அலைநீளமுள்ள மஞ்சள் ஒளியை வெளிவிடுகிறது. இந்தச் சோடியம் ஒளியை 0.1 மி.மீ இடை



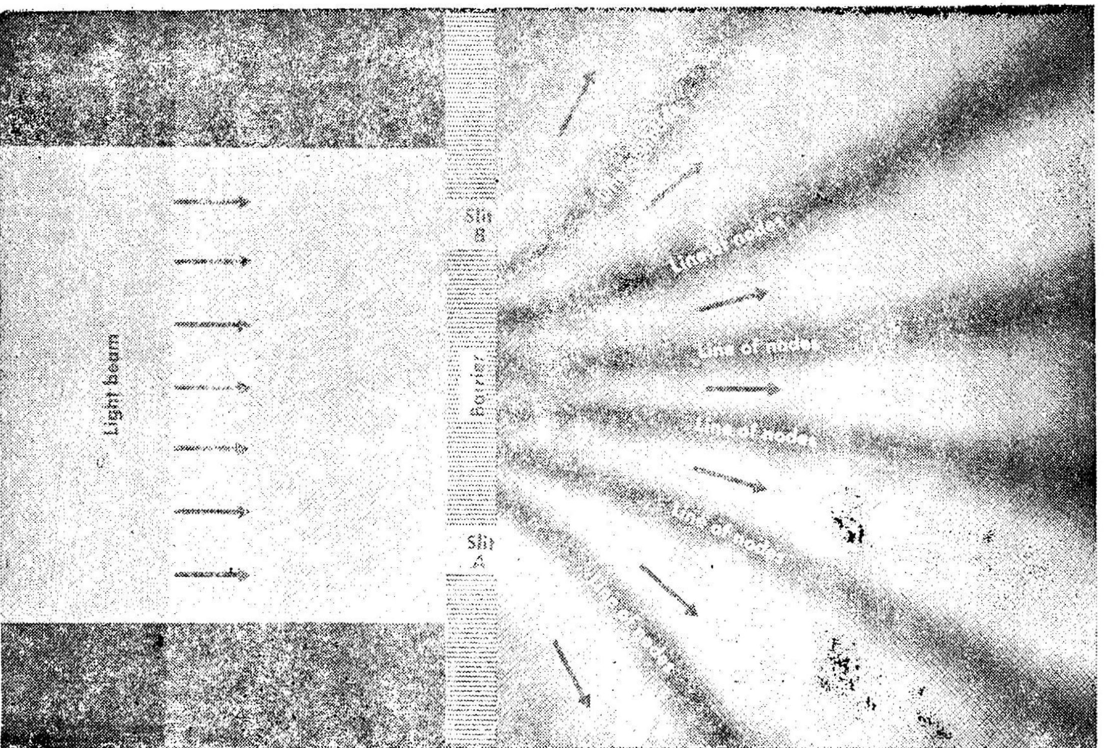
படம் 10-15

யங்கின் இரட்டைப் பிளவு உருவாக்கும் குறுக்கீட்டுப் பாங்கம். படம் 10-14-ல் திரைக்குரிய இடத்தில் நிழற்படத் தகடு ஒன்றை வைப்பதன்மூலம் பெறக்கூடிய செறிவுப் பாங்கம். அடுத்தடுத்த தோற்றங்கள் பிளவிடைத் தூரத்தைக் குறைப்பதால் கிடைக்கக் கூடியவை (நன்றி: இயற்பியல் ஆய்வுக்குழு)



படம் 10-17

ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் இரட்டைப்பிளவின் இரு புறமும் ஒளிச்செறிவு, அலைகளும் குறுக்கீட்டுப் பாங்கமும் வலப்புறம் நோக்கிப் பரவுகின்றன.



படம் 10-18

இரட்டை பிளவு செறிவுப் பாங்கத்தின் பொதுவான தோற்றம். இதுவும் படம் 10-17-ல் உள்ளது போன்றதே. ஆனல் அலைவு நேரத்தை நோக்கச் சற்று அதிக நேரத்திற்கு நோக்கும் பொழுது ஏற்படக்கூடிய தோற்றம்.

வெளியுள்ள இரு நுட்பமான பிளவுகளின் வழியே அனுப்பினுல் அவற்றினின்றும் 1 மீட்டர் தொலேவில் (படம் 10-16–ல் காட்டியுள்ளவாறு) வைக்கப்பட்ட திரையில் உருவாகும் வரிகளுக்கிடையேயான இடைவெளி எவ்வளவு இருக்கும்?

வரிகளுக்கிடையேயான இடைவெளி a ஆனது மையப் பெருமத்திலிருந்து முதல் அல்லது $N = 1$ பெருமத்திற்கு உள்ள தொலேவாகும்.

சமன் 10-9-லிருந்து $N = 1$ பெருமம்

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{5.89 \times 10^{-5}}{0.1 \times 10^{-1}} = 5.89 \times 10^{-3}$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து பெறக்கூடிய கோணத்தில் அமைந்துள்ளது. படம் 10-16-ன்படி

$$\sin\theta = \frac{a}{D}$$

எனவே $\frac{a}{D}$ 5.89×10^{-3}

அல்லது $a = 0.589$ செ.மீ

ஓரலகுப் பருமனுடைய அலேக்குரிய ஆற்றல் அலேயின் செறிவு (intensity) என வரையறுக்கப்படுகிறது. அடுத்த பகுதியில் நிறுவப்படுவது போன்று இச் செறிவு அலேவீச்சின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது. ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் இரட்டைப் பிளவிலிருந்து கிடைக்கக்கூடிய ஒளிச் செறிவுப் பாங்கத்தைப் படம் 10-17-ல் காணலாம். ஒளி அலேகள் வலப்பக்கம் நோக்கிப் பரவுகின்றன. இரட்டைப் பிளவுக்கு முன் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் சராசரி ஒளிச் செறிவு படம் 10-18-ல் உள்ளது போல் அமையும்.

இப்பொழுது, ஒரு அலேயின் செறிவு அல்லது ஆற்றல் அலே வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது என நிறுவுவோம். முதலில் ஒரு கயிற்றின் வழியே செல்லும் y_0 பெரும அலே வீச்சையுடைய ஒரு அலேயைக் கருதுவோம். கயிற்றின் Δm நிறையுடைய எச் சிறு பகுதியும் கயிற்றிற்குக் குறுக்காக y_0 என்ற பெரும வீச்சுடன்கூடிய சீரிசை இயக்கத்துடன் அலேவுறும். அலேயின் நேரம் T எனில் சமன் 3-10-ன்படி Δm நிறையின் முடுக்கம் $a = (4\pi^2/T^2)\,y$. எனவே Δm-ன் மீதான விசை $F = (4\pi^2 \Delta m/T^2)y$. மேலும் பக்கம் 123-ல் கூறப்பட்டுள்ளபடி Δm-ன் ஆற்றல்

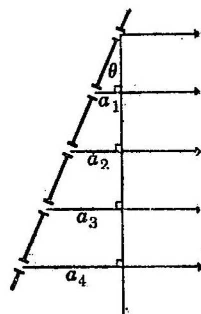
$\frac{1}{2}F$ பெருமம். yo அல்லது $(2\pi^2 \Delta m/T^2)$ $y_0{}^2$ ஆகும். எனவே அலையின் செறிவு $y_0{}^2$ அல்லது வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

அடுத்து மின்காந்த அலையின் ஆற்றலானது வீச்சின், அதாவது மின்புல வலிமை E-ன் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது என நிறுவுவோம். அலை ஆற்றலானது l நீளமுள்ள அன்டென்னவில் மறையும் மின்னாற்றலுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். அன்டென்னக் கம்பியின் மின் தடை R, முனைகளுக்கிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடு V எனில் ஓரலகு நேரத்தில் அன்டென்னவில் மறையும் மின்னாற்றலானது மின்திறன் V^2/R ஆகும். ஆனால் கம்பியின் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு V ஆனது l-ன் E மடங்கு ஆகும். எனவே, அலைச்செறிவு $(El)^2/R$ அல்லது E^2-க்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது.

10-5 விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணி (The diffraction grating)

இரு பிளவுகளைவிட மூன்று, நான்கு...... பிளவுகள் மேம்பட்டவை

விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணி ஒன்றை அடுத்தடுத்து அமைக்கப்பட்ட பல இரட்டைப் பிளவுகளாகக் கருதலாம். படம் 10-19, d செ.மீ. பிளவிடைத் தொலைவுள்ள ஒரு விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணியைக் குறிக்கிறது. பாதைவேறுபாடு $a_1 = N\lambda$ எனில் $a_2 = 2N\lambda$, $a_3 = 3N\lambda$.... இந்நிலையில் எல்லா பிளவுகளிலிருந்தும் செல்லும் அலைகள் ஒன்றையொன்று ஊக்குவித்து செறிவுப் பெருமத்தை ஏற்படுத்துகின்றன. எனவே செறிவுப் பெருமத்திற்கான நிபந்தனை



படம் 10-19
விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணியின் முதல் ஐந்து பிளவுகள்

$$\frac{a_1}{d} = \frac{N\lambda}{d}$$

அல்லது $$\sin\theta = \frac{N\lambda}{d} \qquad (10\text{-}10)$$

மற்றெந்தக் கணத்திலும் ஒரு அலை அதற்கு முந்திய அலையுடன் ஒத்திராததால் அவை ஒன்றையொன்று ஏறத்தாழ அழித்துக் கொள்ளும்.

λ-ன் ஒவ்வொரு மதிப்புக்கும் பெருமச் செறிவுக்கான ஒரு தனித்திசை θ உண்டென்பதைச் சமன் 10-10-லிருந்து அறியலாம்.

நீல நிறத்திற்கு sin θ-ன் மதிப்பு சிவப்பு நிறத்திற்குள்ளதுபோல் ஏறத்தாழ பாதி அளவு அதிகமாக இருக்கும். வெள்ளொளிக் கொண்டு கீற்றணியை ஒளியூட்டினால் திரையில் தொடர்நிறமாலை ஒன்றைப் பெறுவோம். இயல் 13-ல் கூறப்பட்டுள்ளபடி அணுக்கள் (மின்வில் Electric arc அல்லது வெப்பத்தால்) கிளர்ச்சியூட்டப்படும்பொழுது குறிப்பிட்ட அலைநீளங்களுள்ள ஒளியை மட்டும் வெளிவிடும். ஒவ்வொரு அணு அல்லது தனிமத்திற்கு சில குறிப்பிட்ட அலைநீளங்கள் அல்லது குறிப்பிட்ட நிறமாலை உண்டு.

மாதிரிக் கணக்கு

சோடியம் நிறமாலையில் இதுவரை அறியப்பட்ட கோடுகளில் செறிவுமிக்க கோடு சோடியம் D கோடு ஆகும். அதன் அலைநீளம் $\lambda = 5890$ A (ஆங்ஸ்ட்ராம்கள்-Angstroms). ஒரு ஆங்ஸ்ட்ராம், $= 10^{-8}$ செ.மீ. சென்டிமீட்டருக்கு 10^4 கோடுகளுள்ள விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணியில் சோடியத்தின் முதற்படி ($N = 1$) நிறமாலையில் (First order spectrum) எந்தக் கோணத்தில் சோடியம் D கோடு தோன்றும்?

கீற்றணியில் சென்டிமீட்டருக்கு 10^4 கோடுகள் இருப்பின் கோடுகளுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு $d = 10^{-4}$ செ.மீ. இம்மதிப்பைச் சமன் 10-10-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்

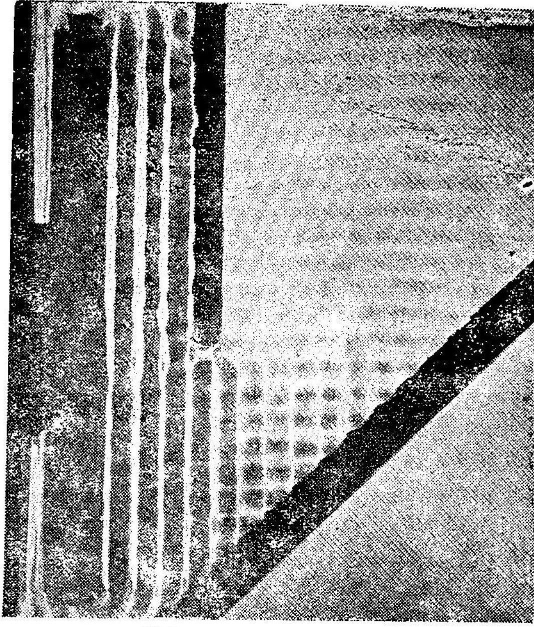
$$\sin\theta = \frac{5890 \times 10^{-8}}{10^{-4}} = 0.589$$

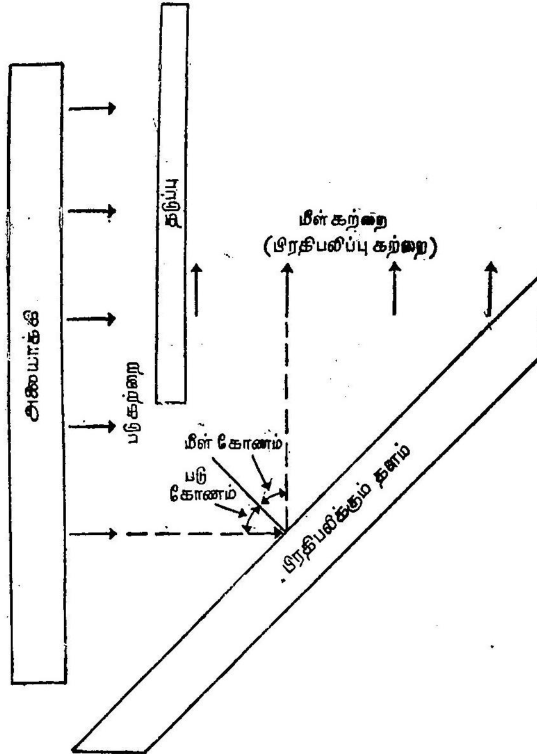
சைன் அட்டவணையிலிருந்து 36° கோணத்தின் சைன் மதிப்பு 0.589 என்பதை அறியலாம். எனவே, கீற்றணிக்கு வரையப்பட்ட லம்பத்திலிருந்து 36° கோணத்தில் சோடியம் D கோடு தோன்றும். கீற்றணி நிறமாலை வரைவியானது (Grating spectrograph) உண்மையிலேயே பொருட்களின் அமைப்பைப் பற்றிய ஆய்வு மற்றும் வேதியியல் பகுப்பாய்வுக்கான திறன்மிக்க கருவியாகும். கண்ணாடிப் பரப்பு ஒன்றில் கோடிடும் பொறி (Ruling engine) எனப்படும் துல்லியமான பொறியைக் கொண்டு நுட்பமான கோடுகளை வரைவதன் மூலம் விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணிகளை அமைக்கலாம்.

10-6 வடிவியல் ஒளியியல் (Geometrical optics)

ஒளிக்கதிர்களின் கணிதம்

ஒளியின் அலைநீளமானது பெரும்பான்மையான ஒளியியல்





படம் 10-20

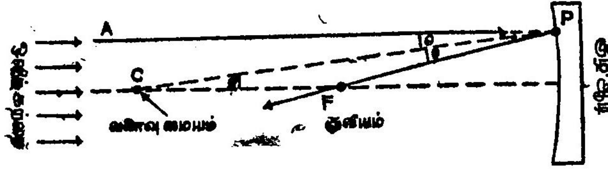
நீரலைகளின் உதவியால் பிரதிபலிப்பு விதியை விளக்குதல் (நிழற்படம் உதவியது: இயற்பியல் ஆய்வுக்குழு)

கருவிகளின் பரிமாணங்களை ஒப்புநோக்க மிகவும் சிறியதாயிருப்பதால் சாதாரணமாகக் குறுக்கீட்டு விளைவுகள் தோன்றுவதில்லை. ஒரு அலைத்தொடர் அல்லது ஒளி அலைகளின் தொடர் நேர்கோட்டில் இயங்குகிறது. ஒளி அலைகளின் இயக்கத் திசையைக் குறிக்கும் அத்தகைய ஒரு கோடு **ஒளிக்கதிர்** எனப்படும். ஒளிக்கதிர்கள் (ஆடிகளில்) பிரதிபலிப்பு விதிக்கும் (லென்ஸ் போன்ற ஒளிபுகு ஊடகங்களில்) ஒளிவிலகல் விதிக்கும் உட்படுகின்றன என்று நாம் காண்போம். யூக்லிட் வடிவியலின் (Euclidian geometry) வழக்கமான விதிகளோடு இவ்விரு விதிகளையும் இணைத்து ஒரு கணிதவியல் அல்லது வடிவியலை உருவாக்கலாம். ஒளியலின் ஒரு தனிப்பெரும் பகுதியான கதிர்களின் இக் கணிதவியல் **ஒளியியல்** எனப்படுகிறது. பிரதிபலித்தல் விதி ஒளிவிலகல் விதி ஆகிய இரு விதிகள் மட்டுமே இங்கு பங்கு பெறும் புதிய பௌதிகத் தத்துவங்களாதலால் அவ்விரு விதிகளை மட்டும் நன்கு ஆராய்வதோடு நிறுத்திக்கொண்டு மற்றவற்றைச் சற்று மேலோட்டமாகவே காண்போம்.

பிரதிபலிப்பு விதி

ஒளிக்கதிர் ஒன்று பிரதிபலிப்புத்தளம் ஒன்றில் பிரதிபலிக்கப்படுமாயின் படுகோணமும் மீள்கோணமும் சமமாகுமென பிரதிபலிப்பு விதி கூறுகிறது. படம் 10-20-ல் நீரலைகளைக் கொண்டு இவ்விதி விளக்கப்பட்டுள்ளது. பிரதிபலிக்கப்படும் அலையானது படுஅலை அமைக்கும் அதே கோணத்திலேயே பிரதிபலிக்கும் தளத்தை விட்டகல வேண்டும் என்பதைக் கவனிக்க. பிரதிபலிப்பு விதியின் பயனாக ஒரு குழி ஆடி ஒரு குவிக்கும் லென்ஸாக எவ்வாறு செயற்படுகிறது என நிறுவுவோம். எளிய லென்ஸ் அல்லது உருப்பெருக்கிக் கண்ணாடி ஒன்று இணை கதிர்களை ஒரு புள்ளியை நோக்கிக் குவியச் செய்யும் என்பது யாவரும் அறிந்ததே. இது ஒரு குழி ஆடிக்கும் பொருந்தும். காட்டாக, சவரக்குழியாடி (concave shaving mirror) ஒன்றைச் சூரியனை நோக்கித் திருப்பி அதன் குவியத்தில் ஒரு தாளை பிடிப்பதன் மூலம் தாளில் ஒரு துளையை ஏற்படுத்தலாம். படம் 10-21-ல் காட்டியுள்ளவாறு குவியத்தூரமானது ஆடியின் வளைவு ஆரத்தில் பாதியாகும். இப்படத்தில் இணைக்கதிர்களின் கற்றை ஒன்றிலிருந்து AP என்ற ஒரு கதிர் கருதப்படுகிறது. ஆடிக்கு வரையப்பட்ட லம்பம் CP-க்கும் இக் கதிருக்கும் இடையேயுள்ள கோணம் θ எனக் கொள்வோம். CP என்பது ஆடியின் வளைவு ஆரமாகும். பிரதிபலிப்பு விதியின் படி கோணம் APC கோணம் FP-க்குச் சமமாகும். எனவே முக்கோணம் FPC ஒரு இரு சமபக்க முக்கோணமாகும். எனவே CF,

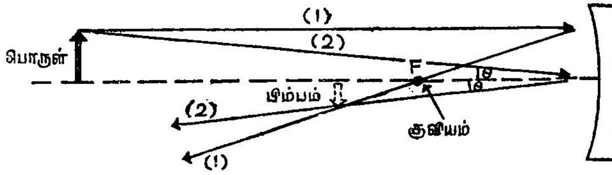
CP ஆகிய இரு பக்கங்களும் சமமாக இருப்பதோடு அவை ஒவ்வொன்றும் C-லிருந்து *P*-க்கு உள்ள தொலைவு அல்லது வளைவு ஆரத்தின் பாதிக்கு ஏறத்தாழ சமமாக இருக்கும்.



படம் 10-21

CP ஆரமுள்ள குழி ஆடியில் இணைகதிர்கள் பிரதிபலித்தல்

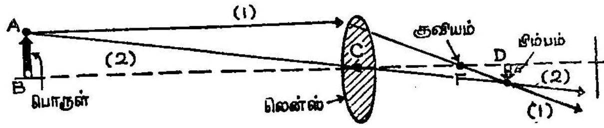
குவியத்தின் நிலையை அறிந்தால் ஆடியின் முன் வைக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் (அம்பு) பிம்பத்தை வரைபடம் மூலம் எவ்வாறு



படம் 10-22

குழி ஆடியில் பிம்பம் உருவாதல். 1-ம் 2-ம் வரைப்படம் மூலம் பிம்பத்தின் நிலையை எவ்வாறு பெறுவது என விளக்குகின்றன.

பெறலாம் என்பதைப் படம் 10-22 விளக்குகிறது. அம்பின் உச்சியிலிருந்து ஆடியின் அச்சுக்கு இணையாக கதிர் 1-ஐயும் அம்பின் உச்சியிலிருந்து ஆடியின் மையத்திற்குக் கதிர் 2-ஐயும் வரையவும், பிரதிபலித்தபின் அவையிரண்டும் சந்திக்கும் புள்ளி அம்பின் உச்சியின் பிம்பமாகும். அம்பின் உச்சியிலிருந்து புறப்படும் மற்ற எல்லாக் கதிர்களும் இந்த பிம்பப் புள்ளி வழியாகச் செல்லும் (அல்லது ஏறத்தாழ செல்லும்). குழி ஆடி ஒன்றைத் தொலை பொருள் ஒன்றின் பிம்பத்தை உருவாக்கப் பயன்படுத்தலாம். அப்பிம்பத்தை உருப்பெருக்குக் கண்ணாடி அல்லது கண்ணருகுக் கருவி ஒன்றின் மூலம் மேலும் பெரிதாக்கலாம். வானியல் தொலை நோக்கிகளில் பெரியகுழி ஆடி ஒன்றின் குவியத்தில் நிழற்படத் தகடுகள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. ஐசக் நியூட்டனால் உருவாக்கப்பட்ட இவ்வகை வானியல் தொலைநோக்கிப் பிரதிபலிப்புத் தொலை நோக்கி (reflecting telescope) எனப்படுகிறது.



படம் 10-23

குவிலென்ஸ் ஒன்றினல் பிம்பம் உருவாதல்

ஒளிவிலகல்

குவிலென்ஸ் அல்லது உருப்பெருக்குக் கண்ணுடிக்குள்ள கதிர்ப் படம் (ray diagram) ஏறத்தாழ குழி ஆடிக்கு உள்ளது போலவே இருக்கும். குவிலென்ஸானது இணைக்கதிர்களை ஒரு குவியப்புள்ளி *F*-ல் குவியுமாறு செய்யவல்ல பண்பையுடையது. படம் 10-23-ல் பிம்பத்தின் நிலைப் பின்வருமாறு அறியப்படுகிறது. முதலில் கிடை அச்சுக்கிணையாகக் கதிர் 1-ஐ வரையவும். இது லென்ஸினுல் வளைக்கப்பட்டுக் குவியம் *F*-ன் வழியாகச் செல்லும். அடுத்து லென்ஸின் மையம் வழியாக நேராகச் செல்லக்கூடிய கதிர் 2-ஐ வரையவும். இருகதிர்களும் சந்திக்கும் புள்ளி பிம்பப்புள்ளி யாகும். இப் பிம்பத்தைக் கண்ணருகுக் கருவி ஒன்றினுல் நோக்கு வோமாயின் ஒளி விலகல் தொலைநோக்கியைப் பெறுகிறேம். மாருக, படம் 10-22-ல் காட்டியுள்ள பிம்பத்தின் நிலையில் ஒரு சிறு பொருளை வைப்போமாயின் அதன் பிம்பம் அம்பின் நிலையில் உருவாகும். பெரிதாக்கப்பட்ட இப் பிம்பத்தைக் கண்ணருகுக் கருவி ஒன்றினுல் நோக்கலாம். இத்தகைய அமைப்பே நுண்ணேக்கி எனப்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு

வீழ்த்தி நுண்ணேக்கி (Projection microscope) ஒன்றில் 1 மி.மீ. குவியத்தூரமுள்ள பொருளருகு லென்ஸிலிருந்து 1 மீட்டர் தொலைவில் தேய்க்கப்பட்ட கண்ணுடித் திரை ஒன்று உள்ளது. உருப்பெருக்குத் திறன் என்ன ?

உருப்பெருக்குத் திறன் என்பது படம் 10-23-ல் தகவு AB/DE ஆகும். ABC, EDC ஆகிய இரு முக்கோணங்களும் ஒத்த முக்கோணங்களாதலால் இத் தகவானது பிம்பத் தொலைவு BC, பொருட் தொலைவு DC ஆகியவற்றின் தகவு ஆகும். பொருட்தொலைவு DC குவியத்தூரம் 1 மி.மீ-க்கு ஏறத்தாழ சமமாகும். எனவே உருப்பெருக்குத் திறன்

$$\frac{AB}{DE} = \frac{100 \text{ செ.மீ.}}{0.1 \text{ செ.மீ.}} = 1000.$$

ஸ்நெல் விதி (Snell's law)

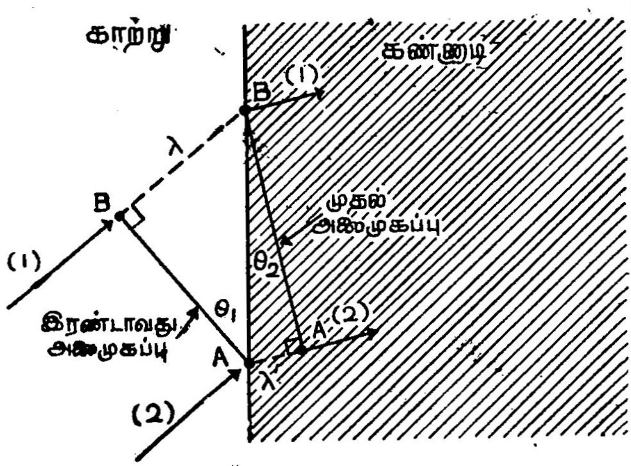
ஒளிக்கதிர்கள் காற்றிலிருந்து கண்ணுடிக்கும் கண்ணுடியி லிருந்து காற்றுக்கும் செல்லும்போது ஏன் விலக்கப்படுகின்றன என்பதே இப் பகுதியில் இறுதியாக ஆராயப்படவேண்டிய தொன்ருகும். கண்ணுடியில் ஒளியின் வேகம் காற்றிலுள்ளதை விடக் குறைவாக இருக்குமாயின் மேற்கூறப்பட்ட விலகல் நிகழ்ச்சி விளைவு என நாம் நிறுவலாம். ஒளியின் வேகத்தைப் பற்றிய ஒளியின் அலைப்பண்பின் நேரடி இக்கருத்து மின்காந்த அலைகள் $v = c$ என்னும் திசைவேகத்துடன்இயங்கவேண்டும் என்ற மாக்ஸ் வெல்லின் கொள்கைக்கு முரண்பாடாகத் தோன்றலாம். எனினும், கண்ணுடியில் ஒளி அலையின் வேகம் அளவிடப்படின் அது $0.66c$ அளவே இருக்கிறது. இஃதென்ன புதிர்? அளவிடப்பட்ட அலையானது மாக்ஸ்வெல்லின் கொள்கைக்கிணங்க $v = c$ என்னும் திசைவேகத்துடன் இயங்கும் எண்ணற்ற தனி அலைகளின் கூட்டுத் தொகையே எனக் கருதுவோமாயின் இப்புதிர் தெளிவாகும். விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணியின் ஒவ்வொரு கோடும் ஒரு தனித் தோற்றுவாயாகச் செயற்படுவதாலேயே கண்ணுடியின் ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானும் தனி அலைத்தோற்றுவாயாகச் செயற்படுகிறது. கண்ணுடியினுள் நுழையும் அலையின் மின்புலத்தின் பயனுய் ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரான்மீதுஅலைவுறுவிசை ஒன்று செயற்படுகிறது. அதன் நிலைமத்தின் பயனுய் ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானின் அலைவும் உள்நுழையும் மின்காந்த அலையின் அலைவுக்குப் பின்தங்கியிருக்கும். தொகை நுண்கணிதத்தைப் பயன்படுத்திப் பின்தங்கும் எலெக்ட்ரான்களால் வெளிவிடப்படும் மின்புலங்களை உள்நுழையும் அலையின் மின்புலத்துடன் கூட்டமுடியும். அத்தகைய கூட்டுத் தொகை $v = 0.66c$ (கண்ணுடிக்கு) என்ற திசைவேகத்துடன் பரவும் அலைவுறு மின்புலமாக இருக்கக் காண்கிருேம். c-க்கும் கண்ணுடியில் ஒளியின் வேகத்திற்கும் உள்ள தகவு கண்ணுடியின் விலகல் எண் n என வரையறுக்கப்படுகிறது. அதாவது,

$$n = \frac{c}{v}$$

இப்பொழுது, கண்ணுடி காற்றுப் பிரிதளத்தில் அலைபரவு திசைமாறுவதற்கான காரணத்தை அறிய படம் 10-24-ஐப் பயன்படுத்தலாம், படத்தில் AB, $A'B'$ என்ற இரு அடுத்தடுத்த அலைகளின் ஒரு பகுதியைக் காணலாம்.

கண்ணுடியில் குறைக்கப்பட்ட அலைநீளம் λ' எனக் கொள்வோமாயின்

$$\lambda' = \frac{v}{f} \; ; \quad \lambda = \frac{c}{f} \qquad (10\text{-}11)$$



படம் 10-24

அடுத்தடுத்த இரு அலைமுகப்புகள் கண்ணாடி - காற்று பிரிதளத்தைக் கடந்து செல்லுதல்

செங்கோண முக்கோணம் $AB\,B'$-ல்

$$\sin\,\theta_1 = \frac{\lambda}{AB'}$$

செங்கோண முக்கோணம் $A'\,AB'$-ல்

$$\sin\,\theta_2 = \frac{\lambda'}{AB'}$$

மேற்கண்ட சமன்பாடுகளை ஒன்றை ஒன்றால் வகுக்க

$$\frac{\sin\,\theta_1}{\sin\,\theta_2} = \frac{\lambda}{\lambda'}$$

சமன் 10-11-லிருந்து λ, λ' ஆகியவற்றின் மதிப்புக்களைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\frac{\sin\,\theta_1}{\sin\,\theta_2} = \frac{c}{v}$$

அல்லது $\dfrac{\sin\,\theta_1}{\sin\,\theta_2} = n$

ஒளி விலகல் விதி எனவும் அழைக்கப்பெறும் இந்த அடிப்படைச் சமன்பாட்டிலிருந்து லென்சுகளின் ஒளியியல் பண்புகளை மதிப்பிடலாம்.

கணக்குகள்

1. எந்தவொரு காலவட்ட அலையியக்கத்திலும் (periodic wave motion) அடுத்தடுத்த இரு சுழி வீழ்ச்சி நிலைகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவு எத்தனை அலைநீளங்களாகும்?

2. மின்காந்த அலையில் அடுத்தடுத்த இரு செறிவுப் பெருமங்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு என்ன?

3. 1A (ஒரு ஆங்ஸ்ட்ராம்) என்பது 10^{-8} செ.மீ என வரையறுக்கப்படுகிறது. கண்ணுறு ஒளியின் வரம்புகளை ஆங்ஸ்ட்ராம்கள் கணக்கில் கூறுக.

4. இயங்கும் மின்னூட்டம் எப்போதும் மின்காந்த அலைகளை வெளிவிடுகிறதா?

5. இரு இசைச் சுரங்களின் அடுக்கங்களின் விகிதம் 2 : 1 எனில் அவை ஒரு எண்மம் (octave) இடைவெளியில் உள்ளன எனக் கூறப்படுகிறது. (மத்திமம் (middle C) (256 cps) உயர் C (high C) ஆகியவற்றிற்கிடையே இரு எண்மங்கள் இடைவெளி இருப்பின் உயர் C-ன் அடுக்கம் என்ன?

6. மனிதச் செவி உணரக்கூடிய சிறும, பெறும அடுக்கங்கள் முறையே 20 cps, 15,000 cps ஆகும். காற்றில் அவற்றிற்குரிய அலை நீளங்கள் யாவை ?

7. படம் 10-7-ல் உள்ள இரு துடிப்புக்களும் அதே அளவாயிருப்பின் மூன்றுவது துணைப்படத்தில் அவை ஒன்றையொன்று முற்றிலும் அழித்துக்கொள்ளும். (கயிறு கிடைமட்ட நேர் கோடாக அமையும்). துடிப்புகள் அழிந்த நிலையிலேயே நின்று விடுமா? விளக்குக.

8. இரு முனைகளிலும் பொருத்தப்பட்ட கயிறு ஒன்றில் அலை திசைவேகம் 2 மீ/வி. அக்கயிற்றில் 3 செ.மீ இடைவெளியில் கணுக்கள் உள்ள நிலை அலைகள் உள்ளன.

(a) அலைவு அடுக்கம் என்ன?

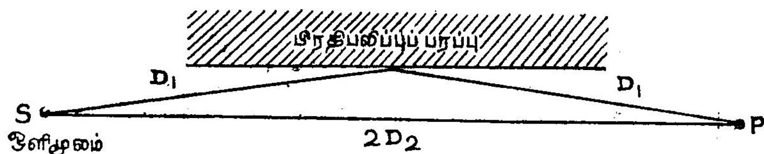
(b) கயிறுனது ஒரு வினடிக்கு எத்தனை முறை கண்ணிகளின்றி நேர்கோட்டில் அமையும்?

9. கீற்றணி ஒன்றின் இரண்டாவது மூன்றுவதுபடி நிலமாலைகளின் சிறிதளவு ஒன்றின் மீதொன்று பொருந்துகின்றன. மூன்றுவது படியின் எந்த அலைநீளம் 2-வது படியின் 7000A நிலையில்

தோன்றும்?

10. படம் 10-11-ல் உள்ள இரு நீரலைக் கருவிகளும் 180° கட்ட வேறுபாட்டுடன் அதிர்வுறுமாயின் (முதற்கருவி மேல்நோக்கி இயங்கும்போது இரண்டாவது கீழ்நோக்கி இயங்கும் கணுக்கோடுகளுக்கான ($D_1 - D_2$)-ன் மதிப்பிற்கான நிபந்தனை என்ன?

கணக்கு 11



கணக்கு 11

11. அருகிலிருக்கும் படத்தில் *P* என்ற புள்ளியில் குறுக்கீட்டுப் பெருமத்திற்கும் சிறுமத்திற்குமான ($D_1 - D_2$)-ன் மதிப்பு என்ன ?

12. மேற்கண்ட கணக்கில் அலையானது 180° கட்ட மாறுபாட்டுடன் பிரதிபலிக்கப்படுமாயின் செறிவுப் பெருமத்திற்கான நிபந்தனை என்ன?

13. ஒளிப்புள்ளி ஒன்று ஆடி ஒன்றின் வளைவுமையத்தில் வைக்கப்படுகிறது. பிம்பத்தின் நிலை என்ன? (இந்த இயலின் தொடக்கப்படம் அத்தகையதொரு நிலையை விளக்குகிறது).

14. ஒளிப்புள்ளி ஒன்று குவியத்தில் வைக்கப்படுகிறது. பிம்பம் எங்கே இருக்கும்?

15. குழி ஆடிக்கு முன் வைக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் தொலைவு குவியத் தூரத்தைவிடக் குறைவாக உள்ளது. ஆடியிலுள் பிம்பத்தைக் காண முடியுமா? காண முடியுமாயின் அது பொருளைவிடப் பெரிதாகத் தோன்றுமா? சிறிதாகத் தோன்றுமா? பிம்பம் தலைகீழானதா? (குறிப்பு: சவரக் குழியாடியின் குவியம் எங்குள்ளது?).

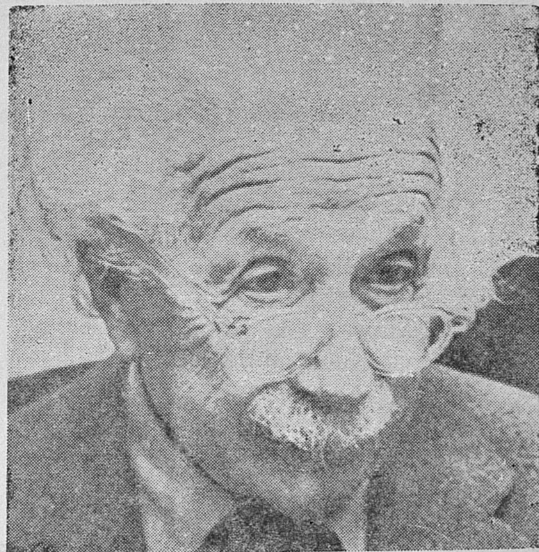
16. λ அலைநீளமுள்ள ஒளியானது *d* அகலமுள்ள ஒற்றைப் பிளவு ஒன்றின்மீது விழுகிறது. θ என்ற கோணத்தில் பிளவின் மையத்திலிருந்து ஒளிப்பாதையின் நீளமானது பிளவின் விளிம்பிலிருந்து ஒளிப்பாதையின் நீளத்தைவிட அரை அலை நீளம் அதிகமாக உள்ளது. இந்நிலையில் $\sin\theta$-ன் மதிப்பு என்ன? (இக்

கோணத்தில் செறிவுச் சிறுமம் ஒன்று காணப்படும். இது ஒற்றைப் பிளவு விளிம்பு விலகல் எனப்படும்).

17. ஒரு ஒளிக்கதிர் எண்ணெய்-கண்ணாடி பிரிதளத்தைக் கடக்கிறது. ஒளியின் வேகம் எண்ணெயிலும் கண்ணாடியிலும் முறையே v_1, v_2 எனில் $\sin\theta_1/\sin\theta_2$ -ன் மதிப்பை v_1, v_2 ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் காண்க.

18. $\lambda = 5 \times 10^{-5}$ செ.மீ அலை நீளமுள்ள ஒளி 2000 கோடுகள்/செ.மீ கொண்ட கீற்றணியில் விளிம்பு விளைவுக்குள்ளாறது. கீற்றணியிலிருந்து 3 மீட்டர் தொலைவிலுள்ள ஒரு திரையில் மையவரிக்கும் அதையடுத்த முதல் வரிக்கும் இடையேயுள்ள தொலைவு என்ன?

19. ஒரு ஒளிக்கதிர் தட்டையான கண்ணாடிப் பட்டை ஒன்றினுள் லம்பத்திற்கு 60° கோணத்தில் நுழைகிறது. $n = 1.5$ எனில் பட்டையின் மறு பக்கத்திலிருந்து எந்தக் கோணத்தில் அது வெளிப்படும்? பட்டையின் பக்கங்கள் இணையானவை.



சார்பியல்
(Relativity)

இயல் 11

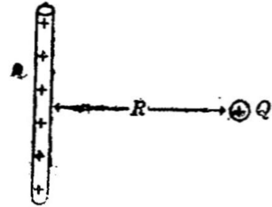
சார்பியல்

11-1 சார்பியல் கொள்கை

திசைவேகம் சார்புடையது

கலிலியோவின் சார்பியல் தத்துவத்தை மின்சாரத்தைப் பற்றிய மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளுக்கும் ஏற்புடைத்தாகச் செய்வதன்மூலம் ஐன்ஸ்டீனின் சார்பியல் கொள்கையைப் பெறலாம். கலிலியோவின் தத்துவமானது: மாருத திசைவேகம் ஒன்றுடன், அதன் எண் மதிப்பும் திசையும் எத்தகையதாயினும், இயங்கும் எந்த ஒரு ஆய்வாளரைப் பொறுத்தவரையும் பௌதிக விதிகள் மாற்றமின்றி அமைய வேண்டும் என்பதாகும். இதனை ஒரு பொதுச் சீரமைவுத் தத்துவமாகவே (general symmetry principle) அவர் கூறினர். அதாவது சார்பிலா திசை வேகத்தை மதிப்பிட மேம்பட்ட சுட்டமைப்பு அல்லது வழிமுறை எதுவும் இருக்கக்கூடாது. இப்பொதுச் சீரமைவு சார்பியல் கொள்கை எனப்படும்.

எனினும் சில மாறுதல்கள் செய்யப்பட்டாலொழிய மின்சார விதிகள் கலிலியோவின் சார்பியல் தத்துவத்திற்கு ஐயமற முரண்படுகின்றன. ஒரே சோதனைக்கு 'ஓய்வில்' இருக்கும் ஒரு ஆய்வாளரும் இயங்கும் ஒருவரும் வெவ்வேறு முடிவுகளைப் பெறுவார்கள். இதனை விளக்கு முகத்தான் எளிய எடுத்துக்காட்டாக சென்டிமீட்டருக்கு P ஸ்டேட் கூலம்கள் மின்னூட்டங் கொண்ட கம்பி ஒன்றிலிருந்து R தொலைவிலுள்ள Q என்ற புள்ளி மின்னூட்டம் ஒன்றைக் கருதுவோம். Q-ன் மீதான விசை $F = QE$. சமன் 7-10-ன்படி

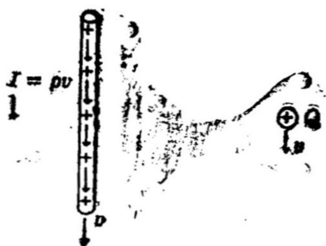


படம் 11-1.

P ஸ்டேட் கூலம்/செ.மீ. மின்னூட்டங்கொண்ட கம்பி ஒன்றிலிருந்து R தொலைவில் உள்ள புள்ளி மின்னூட்டம் Q.

$E = 2\rho/R$ ஆதலால் நிலையான ஆய்வாளருக்கு

$$F = \frac{2Q\rho}{R} \qquad (11\text{-}1)$$



படம் 11-2
v என்ற திசைவேகத்துடன் மேல்நோக்கி இயங்கும் ஆய்வாளருக்குப் படம் 11-1-ன் தோற்றம்.

அடுத்து கம்பிக்கு இணையாக v என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கும் ஒரு ஆய்வாளரைக் கருது வோம். அவரைப் பொறுத்தவரை Q-ன் மீது மேற்கூறப்பட்ட நிலை மின் விசையைத் தவிர மற்றொரு காந்தவிசையும் செயற்படும். அவர் கம்பியின் வழியே $I = \rho v$ என்ற மின்னோட்டத்தையும் கம்பிக்கு இணையாக v என்ற திசை வேகத்துடன் Q-ம் இயங்குவதையும் காண்கிறார். சமன் 8-10-ன்படி Q-ன் மீதான காந்தவிசை $F_B = Qv/c \times B$. நேர்கோட்டு மின்னோட்டம் ஒன்றினால் விளையும் காந்தப்புலம் $B = 2\rho v/cR$. எனவே காந்தவிசை

$$F_B = \frac{Qv}{c} \times \frac{2\rho v}{cR} = \frac{2Q\rho}{R}\ \frac{v^2}{c^2}$$

இந்த காந்த ஈர்ப்பு விசையையும் நிலைமின் ஒதுக்கு விசையையும் கூட்டினால் Q-ன் மீது செயற்படும், இயங்கும் ஆய்வாளர் அளவிடக்கூடிய விசையைப் பெறலாம். எனவே v என்ற திசை வேகத்துடன் இயங்கும் ஆய்வாளர் அளவிடும் Q-ன் மீதான விசை

$$F = \frac{2Q\rho}{R} - \frac{2Q\rho}{R}\ \frac{v^2}{c^2}$$

அல்லது $F = \dfrac{2Q\rho}{R}\left(1 - \dfrac{v^2}{c^2}\right)$ (11-2)

இதன் மதிப்பு ஓய்வில் இருக்கும் ஆய்வாளர் பெற்ற மதிப்பை (சமன் 11-1) விட $(1-v^2/c^2)$ மடங்கு குறைவாக உள்ளது. இவ்வாறாக மின்சார விதிகள் வெவ்வேறு சுட்டமைப்புகளின் வெவ்வேறு முடிவுகளை அளிக்கின்றன என்பது தெளிவாகிறது. எனினும் கலிலியோவின் சார்பியல் தத்துவத்தின்படி Q-ன் மீதான விசை அல்லது முடுக்கம் ஆய்வாளரின் திசைவேகத்தைச் சார்ந்திருக்கலாகாது.

எனவே முதுவிசையியலுக்குப் பொருத்தமான கலிலியோவின் சார்பியல் தத்துவம் மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளுக்கு முரண் பட்டதாயுள்ளது என்பது தெளிவாகிறது. இம் முரண்பாட்டைத் தவிர்க்க வேண்டுமாயின் சார்பியல் தத்துவோ, மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளோ அல்லது முது விசையியல் கொள்கைகளோ மாற்றப்பட வேண்டும். பின்வரும் சாத்தியக் கூறுகளைக் கருதுவோம்.

1. சார்பியல் தத்துவமானது விசையியலுக்கு மட்டுமே பொருந்துகிறதேயன்றி மின்விசையியலுக்குப் பொருந்துவதில்லை. மின்சார விதிகள் ஒரு மேம்பட்ட சுட்டமைப்புக்கு மட்டுமே பொருந்துகின்றன. அச்சுட்டமைப்பில் மட்டுமே ஒளியானது $v = c$ என்ற திசைவேகத்துடன் செல்லுகிறது.

2. சார்பியல் தத்துவமானது விசையியல், மின்விசையியல் ஆகிய இரண்டிற்கும் பொருந்துகிறது; ஆனால் இயல்கள் 7, 8-ல் உருவாக்கப்பட்ட மின்சார விதிகள் சரியானவை அல்ல. ஒளி யானது அதன் தோற்றுவாயைப் பொறுத்து எப்பொழுதும் C என்ற திசைவேகத்துடன் செல்லுகிறது என்னும் முடிவைத் தரும் வகையில் மின்சார விதிகளை மாற்றி அமைக்கலாம். மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளின் இத்தகைய மாற்றம் ஒளி வெளிப் பாட்டுக் கொள்கை எனப்படும்.

3. சார்பியல் தத்துவம் பிழையற்றது; ஆனால் விசையியல் கருத்துக்களும் விதிகளும் மாற்றப்பட வேண்டும். இத்தகைய மாற்றத்தையே ஐன்ஸ்டீன் தேர்ந்தெடுத்தார். அவர் நிறை, ஆற்றல், உந்தம் ஆகியவற்றின் வரையறைகளையும் வெளியிடம், காலம் ஆகியவற்றின் பண்புகளையும் மாற்றி அமைத்து விசையியல் விதிகளையும் மின்சார விதிகளையும் சார்பியல் கோட்பாட்டிற்கு உட்படுமாறு செய்தார்.

11-2 ஈதர் என்னும் புதிர்

''பதினெட்டு வயதுக்குள் மனதிற்படிந்த சார்பெண்ணங்களே (prejudices) பொது உணர்வு (commen sense) எனப்படுவது'' -A.ஐன்ஸ்டீன்

முதலாவதாக நாம் மேற்கண்ட சாத்தியக் கூறுகளுள் முதலா வது எவ்வாறு சோதனைமூலம் முறியடிக்கப்பட்டது எனக் காண்போம். அதில் கூறப்பட்டுள்ள மேம்பட்ட சுட்டமைப்பில் ஒளியானது C என்ற திசைவேகத்துடன் செல்லும். அச் சுட்டமைப்யைப் பொறுத்து v என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கும்

ஒருவருக்கு அவர் ஒளி மூலத்தை நோக்கி இயங்கும்பொழுது ஒளியின் திசைவேகம் $c+v$ ஆக இருக்கும். ஒளி பரவுதலுக்கு பௌதிகப் பண்புடைய, ஆனால் நிறையற்ற ஒரு ஊடகம் தேவைப் படுமாயின் இம் முடிவையேதான் ஒருவர் எதிர்பார்க்கக்கூடும், அத்தகைய ஊடகம் ஈதர் என அழைக்கப்பட்டது. மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளுக்கு ஏற்புடைத்தானதெனக் கருதப்படும் மேம்பட்ட சுட்டமைப்பானது ஓய்வில் உள்ள ஈதராக விளக்கப்பட்டது. இவ்வாறாக, எல்லா திசைவேகங்களும் சார்பிலாத் திசைவேகங் களாகக் கருதப்பட்டன—அதாவது அவற்றை ஈதரைச் சுட்டமைப் பாகக் கொண்டு அளவிடலாம்.

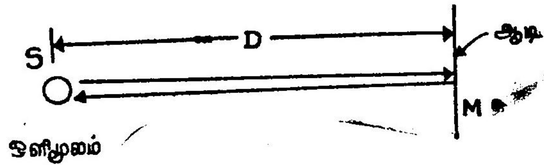
அடுத்து இத்தகைய தற்கோள்(assumption) 1880-ல் தொடங் கிய ஏறத்தாழ பத்தாண்டுக் காலத்தில் மைக்கல்சன், மார்லி (Michelson, Morley) என்ற இரு விஞ்ஞானிகளும் செய்த புகழ் மிக்க சோதனைகளால் எவ்வாறு பொய்ப்பிக்கப்பட்டது எனக் காண்போம். புவியானது சூரியனைச் சுற்றி $v = 18$ மைல்/வி என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்குவதால் ஓராண்டுப் போதில் புவியானது ஈதரைப் பொருத்துக் குறைந்தது 18 மைல்/வி திசை வேகத்தை (அல்லது ஈதர் புவியைப் பொறுத்து 18 மைல்/வி திசை வேகத்தை)க் கொண்டிருக்கக்கூடிய காலங்கள் இருக்க வேண்டும் என ஈதர் கொள்கையின் ஆதரவாளர்கள் நம்பினர். அவ்வா றாயின் புவி மீதுள்ள ஒரு ஆய்வாளரைப் பொறுத்தவரை ஈதரின் திசையிலேயே இயங்கும் ஒளியானது புவியைப் பொறுத்து $(c+v)$ என்ற திசைவேகத்தையும் (v என்பது குறைந்தது 18 மைல்/வி மதிப்பாவது பெற்றிருக்கும்) ஈதரின் எதிர்த் திசையில் இயங்கும் ஒளி $(c-v)$ என்ற திசைவேகத்தையும் கொண்டிருக்க வேண்டும். எனவே, ஒளியானது D தொலைவிலுள்ள ஒரு ஆடிக்குச் சென்று திரும்புவதற்கான நேரம்

$$t = \frac{D}{c+v} + \frac{D}{c-v} = \frac{2Dc}{c^2-v^2} = \frac{2D}{c} \times \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (11\text{-}3)$$

ஆக இருக்கும்.

D நீளமுள்ள கெட்டியான புயம் ஒன்றின் மூலைகளில் ஒளி மூலமும் ஆடியும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இனி, அப்புயம் ஈதரின் v என்ற திசைவேகத்திற்கு இணையாக அமையும்பொழுது ஒளியானது ஆடிக்குச் சென்று திரும்புவதற்கான நேரத்தைச் சமன் 11-3-லிருந்து பெறலாம். புயமானது அது v-ன் திசைக்கு நேர்குத்தா யிருக்குமாறு 90° சுற்றப்பட்டால் ஈதரைப் பொறுத்து ஓய்விலிருக்கும் ஒரு ஆய்வாளரைப் பொறுத்தவரை ஒளியானது

$2D'$ தொலைவு கடக்க வேண்டும் (படம் 11-4). எனவே, ஆடிக்குச் சென்று திரும்புவதற்கான நேரம்



படம் 11-3

ஒளிமூலத்திலிருந்து ஆடிக்குச் சென்று திரும்பும் ஒளிப்பாதை.

$$t' = \left(\frac{2D'}{C}\right) \text{ அல்லது } D' = \frac{ct'}{2} \qquad (11\text{-}4)$$

ஆகும். படம் 11-4-ல் உள்ள செங்கோண முக்கோணத்திலிருந்து

தொடக்கத்தில் நிலை
$\frac{t'}{2}$ காலத்தில் நிலை
t' காலத்தில் நிலை
M
M′
M″
ஆடி
v
D
D′
D′
S
S′
S″
ஒளிமூலம்
v
vt′

படம் 11-4

ஒளி மூலமும் ஆடியும் v என்ற திசை வேகத்துடன் வலப்பக்கம் நோக்கி இயங்கும்போது ஒளிப்பாதை.

$$D'^2 = D^2 + \left(\frac{vt'}{2}\right)^2$$

சமன் 11-4லிருந்து D'-க்கான மதிப்பைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\frac{c^2t'^2}{4} = D^2 + \frac{v^2t'^2}{4'}$$

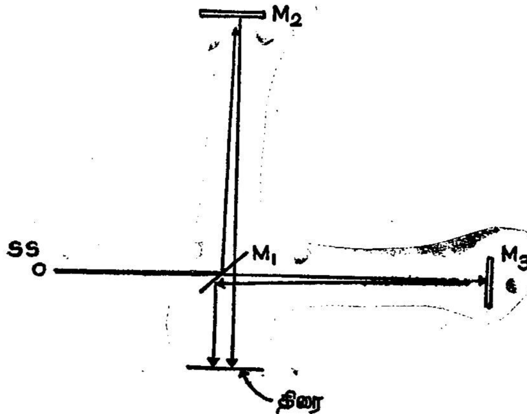
$$\frac{c^2}{4}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)t'^2 = D^2$$

அல்லது $t' = \dfrac{2D}{c\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$ (11-5)

எனவே $t'/t = \sqrt{1-v^2/c^2}$. இதன் மூலம் ஒளியானது ஆடிக்கு சென்று திரும்புவதற்குரிய நேரமானது புயம் ஈதர் திசைவேகத்திற்கு நேர்குத்தாயிருக்கும்பொழுது குறைகிறது என்பதை அறியலாம். இரு நேரங்களுக்கான தோராயமான வேறுபாடு

$$t - t' = \frac{2D}{c} \times \frac{v^2}{2c^2}$$

ஒன்றுக்கொன்று $90°$ கோணத்தில் அமையபெற்ற இரு புயங்களைக் கொண்ட குறிக்கீட்டு மானி (Interferometer) யின் உதவியால் சிறிய அளவிலான இந்த நேரவேறுபாட்டை அளவிடமுடியும் என

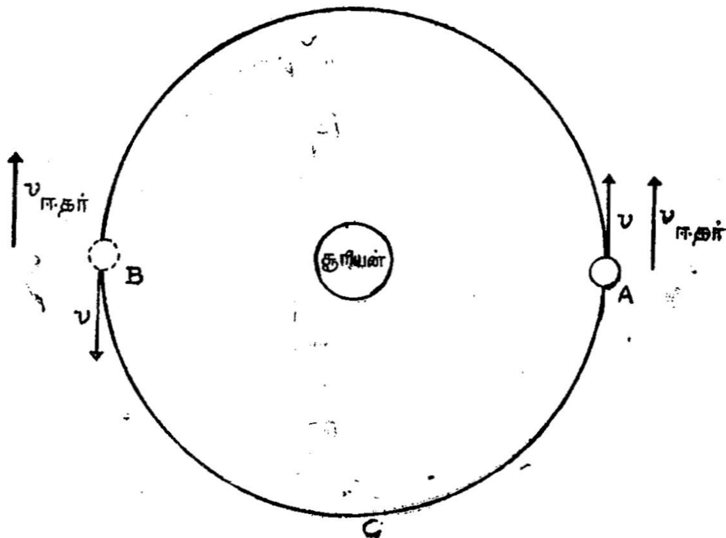


படம் 11-5

மைக்கல்ஸன் குறுக்கீட்டுமானி. ஒளி மூலம் S-லிருந்து செல்லும் ஒளியானது M_1 என்ற ஒளி ஊடுருவு ஆடியில் இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு திரையில் மீண்டும் ஒன்று கூடுகிறது.

மைக்கல்ஸனும் மார்லியும் எண்ணினர். குறுக்கீட்டு மானி ஒன்றின் அமைப்பைப் படம் **11-5-ல்** காணலாம். குறுக்கீட்டு மானியில் S என்ற மூலத்திலிருந்து செல்லும் ஒளியானது M_1 என்ற ஒளி ஊடுருவு ஆடியால் இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. அவ்விரு கதிர்களும் திரையில் மீண்டும் ஒன்றுகூடுகின்றன. இவ்விரு ஒளிப் பாதைகளும் அதே நேரத்தை எடுத்துக்கொள்ளுமாயின் திரையில் ஆக்கக் குறுக்கீடு விளையும். சோதனையில் திரையில் ஆக்கக் குறுக்கீடு விளையுமாறு M_2, M_3 என்ற ஆடிகளின் நிலைகள் சரிசெய்யப்படுகின்றன. அடுத்து கருவியானது புவியின் சுழற்சித் திசைக்கு 90° திசையில் சுழற்றப்பட்டு புதிய குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் நோக்கப்படுகிறது. ஈதரின் திசைவேகத்தின் பயனாய் ஒளிப்பாதைகளுக்குரிய நேரங்களிடையே ஏற்படும் வேறுபாடானது குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தில் மாறுதலை விளைவிக்கவேண்டும். v-ன் 18 மைல்/வி போன்ற சிறுமதிப்புக்கூட மிகவும் குறிப்பிடத்தக்க மாறுதலை ஏற்படுத்தவேண்டும்.

ஆனால் மைக்கல்ஸனும் மார்லியும் எவ்வளவோ முயன்றும் எத்தகைய மாறுதலையும் காணமுடியவில்லை. சூரியமண்டலத்தைப் பொறுத்த ஈதரின் திசைவேகம் எதிர்பாராத வகையில் 18 மைல்



படம் 11-6

புவியின் சூரியனைச் சுற்றிய பாதை. A-ல் ஈதரின் திசைவேகம் சுழியாகும். B-யிலோ அது இரு மடங்காகும்.

விஞடியாக அமைந்துள்ளதே இதற்குக் காரணம் என விளக்கம் கூறப்பட்டது. அவ்வாருயின் படம் 11-6-ல் புவியானது A நிலையில் இருக்கும்பொழுது ஈதரைப்பொறுத்து அதன் திசைவேகம் சுழியாகும். எனினும், மைக்கல்ஸனும் மார்லியும் 6 மாதங்களுக்குப் பிறகு புவி B நிலையில் இருக்கும்போது அவர்களுடைய சோதனையை மீண்டும் செய்தார்கள். இப்பொழுது அவர்கள் ஈதரின் எதிர்பார்த்த திசைவேகத்தைப்போல் இருமடங்கு திசைவேகத்தை அளவிடவேண்டுமாயினும் குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தில் எவ்வித மாறுதலும் நிகழவில்லை.

புவியானது அதற்கு அருகேயுள்ள ஈதர் பகுதியை அதனுடன் இழுத்துச் செல்லலாம் என இதற்கு விளக்கம் கூறப்பட்டது. அவ்வாருயின் விண்மீன்கள் இப்பொழுது காணப்படுவதற்கு மாருக ஓராண்டுக்காலத்தில் முன்னும் பின்னும் இயங்குமாறு காணப்படவேண்டும். எனவே இந்த விளக்கமானது இத்தகைய வானியல் காட்சியறிவின் பயனுய் ஏற்றுக்கொள்ளப்படவில்லை.

மைக்கல்ஸன்-மார்லி சோதனையின் தோல்விக்கு ஃபிட்ஸெரால்டு (Fitzerald), லொரென்ட்ஸ் (Lorentz) ஆகிய இருவரும் பின்வருமாறு விளக்கம் கூற முயன்றனர். அவர்கள் கருத்துப்படி எல்லா பௌதிக நீளங்களும் அவை ஈதரைப் பொறுத்து v என்ற திசை வேகத்துடன் இயங்கும்போது $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ மடங்கு குறுக்கப்படுகின்றன. எனவே குறுக்கீட்டுமானி $90°$ சுழற்றப்படும் பொழுது, அதன் புயங்களின் நீளங்கள் குறுக்கீட்டுமானி சுழற்றப் படுவதால் ஏற்படும் விளைவை அழிப்பதற்குத் தேவையான அளவுக்கு மாறக்கூடும். இத்தகைய விளைவைத் தவிர்க்கும் பொருட்டு வெவ்வேறு நீளப்புயங்களையுடைய குறுக்கீட்டுமானி பயன்படுத்தப் பட்டது. அத்தகைய குறுக்கீட்டுமானியில் ஃபிட்ஸெரால்டு-லொரென்ட்ஸ் குறுக்கமானது வெவ்வேறு குறுக்களவைகளில் (latitudes) வெவ்வேறு விளைவுகளைத் தரவேண்டும். ஆயினும் மீண்டும் எத்தகைய விளைவுகளும் காணப்படவில்லை.

இத்தகைய விரிவான சோதனைகளின் பயனுய் ஒளியானது குறுக்கீட்டு மானியைப் பொறுத்து எப்போதும் c என்ற திசைவேகத்துடனேயே செல்கிறது என்ற முடிவுக்கு வந்தோம்.

மைக்கல்ஸன்-மார்லிச் சோதனையின் தோல்விக்கு இரண்டாவது சாத்தியக்கூறின் அடிப்படையிலும் விளக்கம் கூறலாம். ஆயினும் அத்தகைய விளக்கமும் வானியல் காட்சியறிவின் பயனுய் தள்ளப்பட்டது. இந்த ஒளி வெளிப்பாட்டுக் கொள்கை உண்மையா யிருக்குமாயின் இரட்டை விண்மீன்களின் இயக்கம்

சிதைந்து காணப்படும். இது கெப்ளர் விதிகளுக்கு முரண்பட்ட தாகும். இரட்டை விண்மீன்களுள் ஒன்று v என்ற திசை வேகத்துடன் புவியை நோக்கி இயங்கும்பொழுது அதன் ஒளி $c+v$ என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கி புவியை முன்னதாகவே வந்தடையும்; அது புவியினின்றும் விலகிச் செல்லும் பொழுதோ அதன் ஒளி c-v என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கி தாமதமாக வந்து சேரும்.

எனவே மைக்கல்ஸன்-மார்லிச் சோதனையின் தோல்விக்குக் கூறப்பட்ட ஒவ்வொரு விளக்கமும் மேலும் பல சோதனைகளாலும் காட்சிப் பதிவுகளாலும் முறியடிக்கப்பட்டிருப்பதை நாம் காணலாம்.

எஞ்சியுள்ள மூன்ருவது சாத்தியக்கூறு 1905-ல் ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன் என்பவரால் சீரியமுறையில் ஆராயப்பட்டது. மின்சார விதிகள் சார்பியல் கோட்பாட்டுடன் முரண்பாடற்று இருப்பதற்கு முதுவிசையியலில் என்னென்ன மாற்றங்கள் தேவைப்படும் என்ற பிரசினையை எதிர்த்துப் போராடினர். நல்ல காலமாக இப்பிரசினை தனிச்சிறப்பு வாய்ந்த தீர்வுடன்கூடிய நன்ருக வரையறுக்கப்பட்ட ஒரு கணிதவியல் பிரசினையாகும், எனினும் கணிதவியல் முடிவுகள் பொது உணர்வுக்கு முரண்பட்ட வையாகத் தோன்றியதால் அவற்றிற்கான பௌதிகவியல் விளக்கம் காண்பது பலருக்குக் கடினமாயிருந்தது.

ஐன்ஸ்டீன் கொள்கையின் கணிதவியல் முடிவுகளுள் ஒன்று: ஒளியானது ஆய்வாளர் அல்லது மூலத்தின் திசைவேகத்தைச் சார்ந்திராது எப்போதும் $c = 3\times10^{10}$ செ.மீ/வி என்ற வேகத் துடனேயே செல்லும் என்பதாகும். இவ்வாருக தொலைவிலுள்ள விண்மீனைப் பொறுத்து ஓய்வில் இருக்கும் ஒரு ஆய்வாளரும் அதனை நோக்கி மிகவேகமாகப் பயணம் செய்யும் ஒருவரும் அதிலிருந்து வரும் ஒளியின் திசை வேகத்திற்கு ஒரே மதிப்பையே அளவிடுவர். இம்முடிவு மைக்கல்ஸன்-மார்லி காட்சிப் பதிவுகளுக்கு ஏற்புடைத் தாயினும் பொது உணர்வுக்கு முரண் பட்டதாகத் தோன்றுகிறது. அவரது கணிதவியல் முடிவுகளைப்பெற வெளியிடம், காலம் ஆகியவற்றைப்பற்றி நாம் கொண்டிருந்த கருத்துக்கள் மாற்றப் படவேண்டியிருப்பதை ஐன்ஸ்டீன் கண்டார். ஐன்ஸ்டீனின் முடிவைப்பற்றிப் பின்வருமாறு எண்ணலாம். ஒளியின் திசை வேகமானது எப்பொழுதும் $c = 3\times10^{10}$ செ.மீ/வி என்ற மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும் வண்ணம் நீளமும் காலமும் சரியான அளவுக்குக் 'கலக்கப்பட்டு'ள்ளன. இக்கலப்படம் லொரன்ட்ஸ் மாற்றம் என அழைக்கப்படும் தத்துவத்தில் கணதவியலாக

விளக்கப்படுகிறது. ஒருவரைப் பொறுத்து ஒருவர் v என்ற திசை வேகத்துடன் இயங்கும் இரு ஆய்வாளர்கள் அளவிடும் கால நீள அளவீடுகளை லொரன்ட்ஸ் மாற்றம் பின்வருமாறு தொடர்புப் படுத்துகிறது.

லொரென்ட்ஸ் மாற்றம்

$$x' = \frac{x + vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t + \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

x', y', z', t' என்பவை ஒரு ஆய்வாளரின் அளவீடுகளையும் $x, y, z, t,$ மற்றொருவரின் அளவீடுகளையும் குறிக்கின்றன. மேற்கண்ட சமன் பாடுகளுக்குரிய முதுச் சமன்பாடுகள் (classical equations)

$$x' = x + vt$$

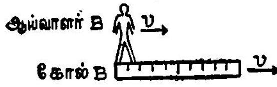
$$t' = t$$

என்பவையாகும். இச் சமன்பாடுகளின்படி இரண்டாமவரின் அமைப்பில் $x = x_0$ என்னும் புள்ளி ஓய்வில் இருக்குமாயின் முதல் வருக்கு அப்புள்ளியின் நிலை $x' = x_0 + vt$ ஆகத் தோன்றும். அதாவது அவருக்கு அப்புள்ளி v என்ற திசைவேகத்துடன் வலப் பக்கம் நோக்கி இயங்குமாறு தோன்றும். நம்மைப் பொறுத்த வரை லொரென்ட்ஸ் மாற்றச் சமன்பாடுகளை (transformation equations)ப் புரிந்துகொள்ளத் தேவையில்லை. மாறாக அவற்றின் கணிதவியல் விளைவுகளைப்பற்றி ஆராய்வோம்.

11-3 லொரென்ட்ஸ் குறுக்கம்

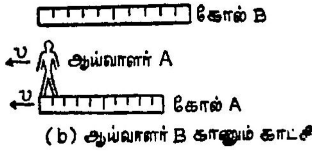
''விசுக் என்றொரு இளைஞன்
வாட்போரி வல் விரைஞன்*
அம்மம்மா அவன் செயல் மிக விரைவே
வீசுவாள் தட்டெனத் தோன்றிடவே
லொரென்ட்ஸ குறுக்கம் செய்ததுவே''

*விரைஞன் — விரைவுடையவன்



கோல் A

(a) ஆய்வாளர் A காணும் காட்சி



(b) ஆய்வாளர் B காணும் காட்சி

படம் 11-7

ஒன்றைப் பொறுத்து ஒன்று $v = 0.6c$ என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கும் இரு ஒத்த மீட்டர் கோல்களின் மீது லொரென்ட்ஸ் குறுக்கத்தின் விளைவு.

லொரென்ட்ஸ் மாற்றத்தின் ஒரு எளிய விளைவு என்னவெனில் இயங்கும் எப்பொருளும் அதன் இயக்கத் திசையில் $\sqrt{1-v^2/c^2}$ மடங்கு குறுகியிருப்பதாகத் தோன்றும். காட்டாக A, B என்ற இரு ஆய்வாளர்கள் ஒத்த மீட்டர் கோல்களுடன் தொடங்கி, ஆய்வாளர் B,A-ஐப் பொறுத்து v என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்குவாராயின் ஆய்வாளர் A, B-ன் மீட்டர் கோலை $\sqrt{1-v^2/c^2}$ மீட்டர் நீளமுள்ளதாக அளவிடுவார். (படம் 11-7) சார்பியல் தத்துவத்தின் பயனுய் இதன் மறுதலையும் உண்மையாயிருக்க வேண்டும். ஆய்வாளர் B-க்கு A-ன் மீட்டர் கோலும் அதே அளவுக்குக் குறுகியுள்ளதாகத் தோன்ற வேண்டும்.

மாதிரிக் கணக்கு

ஒரு மீட்டர் கோல் ஒளிவேகத்தின் 60% வேகத்துடன் நம்மைக் கடந்து செல்வதாகக் கருதுவோம். அது எவ்வளவு நீளமுடையதாகத் தோன்றும்.

$$L' = \sqrt{1 - 0.6^2} \text{ மீ}$$

$$= \sqrt{0.64} \text{ மீ}$$

$$= 80 \text{ செ.மீ}$$

முற்பகுதியில் சமநீளமற்ற புயங்களைக் கொண்ட குறுக்கீட்டுமானியின் உதவியால் கிடைத்த சோதனை முடிவுகளை விளக்குவதற்கு லொரென்ட்ஸ் குறுக்கத்தால் முடியவில்லை எனக் கண்டோம். நீளத்தைப் பற்றிய நமது கருத்தை மாற்றுவதோடு காலத்தைப் பற்றிய கருத்தையும் மாற்றுவதன் மூலம் இந்த இடர்பாட்டிற்குரிய தீர்வு காணலாம்.

11-4 கால நீட்டிப்பு (Time Dilation)

''கண்ணம்மா என்ளெரு கன்னியவள்
ஒளியை விஞ்சும் வேகத்திஞள்
ஐன்ஸ்டீன் காட்டும் வழியினிலே
ஒருநாள் பிரிந்து சென்றனளே
முன்ஞளிரவு மீண்டனளே''

காலத்தைப் பற்றிய நமது கருத்தை மாற்ற வேண்டியதன் இன்றியமையாமையை ஐன்ஸ்டீன் உணர்ந்தமைக்கான காரணத்தை விளக்கு முகத்தான் ''ஒளிக்கடிகாரம்'' (light clock) ஒன்றைக் கருதுவோம். ஒளிக்கடிகாரத்தின் அமைப்பு மிக எளியது. D இடை வெளியில் அமைக்கப்பட்ட இரு இணை யாடிகளே ஒளிக்கடிகாரத்தை அமைக்கின்றன. ஒரு ஒளித்துடிப் பானது ஒரு ஆடியிலிருந்து புறப்பட்டு இரண்டாவது ஆடிக்குச் சென்றுதிரும்புவதற்கான நேரம் $t = 2D/c$ ஆகும். D-ன் மதிப்பை 150 மீ. ஆகச் செய்வோமாயின் ஒளிக் கடிகாரம் ஒவ்வொரு மைக்ரோவினடி $(t = 10^{-6})$ யையும் கணிக்கும்.

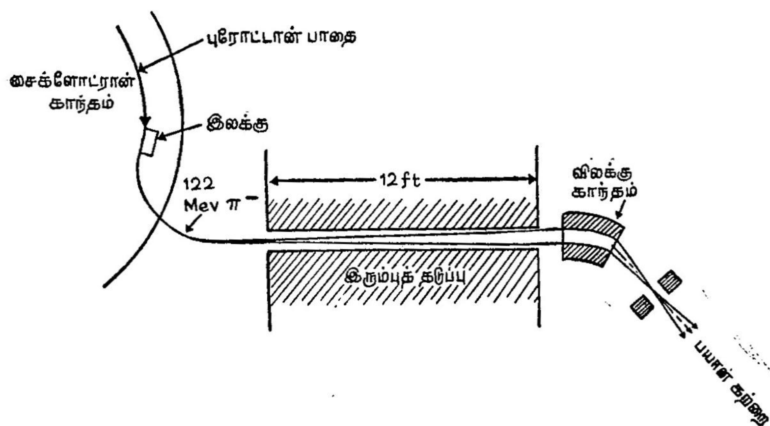
அத்தகைய கடிகாரம் ஒன்று v திசைவேகத்துடன்அதன் புயம் D ஆனது v-க்கு நேர்குத்தாயமைந்த நிலையில் இயங்குவேதாகக் கொள்வோம். ஒளித்துடிப்பானது c என்ற மாருத திசைவேகத் துடனேயே. இயங்கவேண்டுமாதலால் ஒரு 'நிலையான' ஆய்வா ளரைப் பொறுத்தவரையில் மேற்கூறப்பட்ட கடிகாரத்தின் நிலைப் படம் 11-4-ல் காட்டப்பட்ட நிலையை யொக்கும். எனவே சமன் 11-5-ன்படி இரு கணிப்புகளுக் கிடையேயுள்ள கால அளவு

$$t' = \frac{2D}{c\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\frac{2D}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\text{அல்லது } t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (11\text{-}6)$$

எனவே நகரும் ஒளிக்கடிகாரம் ஒன்று ஒவ்வொரு மைக்ரோ வினடி யையும் கணிக்காமல் மைக்ரோ வினடியை விடச் சற்று அதிக கால இடைவெளியை அதாவது நீட்டிக்கப்பட்ட மைக்ரோ வினடியைக் கணிக்கும். ஆனல் ஒளிக்கடிகாரத்துடன் இயங்கும் ஒருவரைப் பொறுத்த வரையிலோ அது முன்னர் கூறப்பட்டபடி ஒவ்வொரு

மைக்ரோ விநாடியையும் கணிக்கும். எனவே ஒளிக்கடிகாரம் நகரும்பொழுதெல்லாம் அது $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ மடங்கு குறைந்த நேரத்தைக் காட்டுவதாகவே தோன்றும் இக்கருத்தை ஒளியின் பண்பாகவே ஐன்ஸ்டீன் வலியுறுத்தினார். ஆதலால் எல்லாக் கடிகாரங்களும் எல்லா பௌதிக நிகழ்ச்சிகளும் (மனிதவாழ்வு உட்பட) கூட அவை நகரும்பொழுது அதே அளவுக்கு (அதாவது $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ மடங்குக்கு) தாமதிக்கப்படவேண்டும். கதிரியக்கத் தனிமத்தின் அரைவாழ்வு (Half life) போன்ற பௌதிக நிகழ்ச்சிகள் கூட $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ மடங்கு தாமதிக்கப்படவேண்டும். உண்மையில் அரைவாழ்வின் மீதான இத்தகைய விளைவு நிலையற்ற துகள்களின் கற்றை ஒன்றின் உதவியால் நேரடியாகக் காட்சிப் பதிவு செய்யப்பட்டது. பயான் (Pion) என்பது 1.8×10^{-8} வி அளவு அரைவாழ்வு கொண்ட ஒரு நிலையற்ற துகளாகும். சின்க்ரோசைக்ளோட்ரானின் உதவியால் பயான் கற்றை ஒன்றை உருவாக்கலாம். படம் 11-8 சின்க்ரோசைக்ளோட்ரான் உருவாக்கிய பயான் கற்றை ஒன்றைக் காட்டுகிறது.



படம் 11-8

சின்க்ரோசைக்ளோட்ரானில் புரோட்டான் கற்றை அக இலக்கொன்றை (internal target) மோதுவதால் உருவாகும் பயான் கற்றை, இலக்கில் புரோட்டான்கள் மோதுவதால் விளையும் பயான்கள் ஒரு காந்தப் புலத்தினால் விலக்கப்பட்டு சோதனைக்குரிய இடத்தை அடைகின்றன.

மாதிரிக் கணக்கு

பயான் கற்றை (Beam of pions) ஒன்று $v = 0.6c$ என்ற திசைவேகத்தைப் பெற்றுள்ளது. பயான்களுள் பாதி சிதைவதற்கு எவ்வளவு நேரம் ஆகும்? அக்கால அளவில் அவை எவ்வளவு

தொலைவைக் கடக்கும்?

காட்சிப்பதிவு செய்யப்பட்ட அரைவாழ்வு T-ஆனது 1.8 $\times 10^{-8}$ விஞடியைப்போல்.

$$\frac{1}{\sqrt{1-0.6^2}} = \frac{1}{\sqrt{0.64}} = 1.25$$

மடங்கு ஆகும். எனவே, அரைவாழ்வு 25% அதிகரிக்கப்படுகிறது.

அல்லது $T' = 2.25 \times 10^{-8}$வி இக்கால அளவில் கடந்த தொலைவு

$$D = vT' = 0.6 \times 3 \times 10^{10} \times 2.25 \times 10^{-8} \text{ செ.மீ.}$$
$$\doteq 4.05 \text{ மீ.}$$

11-5 இரட்டையர் புதிர் (The twin baradox)

மாறு இளமையின் இரகசியம்

விண்வெளிப் பயணிகள் புவியிலுள்ள அவரது உடன்பிறந்தார்களைப்போன்று விரைவில் முதுமை எய்துவதில்லை என்ற கருத்து விண்வெளி ஆராய்ச்சி தொடங்கிய நாளிலிருந்து பொதுவாகப் பரவியுள்ளது. உண்மையில் விண்வெளிப் பயணி ஒருவர் ஒளிவேகத்துடன் இயங்கமுடியுமாயின் முதுமை அடையவே மாட்டார்.

விண்வெளிப் பயணிக்கான இந்த கால நீட்டிப்பைச் சமன் 11-6-லிருந்து காணலாம். புவிமீதுள்ள ஒரு ஆய்வாளரின் அளவீட்டின்படி v திசைவேகத்துடன் செல்லும் விண்வெளிக்காலம் ஒன்றினுள் கடிகாரங்களும் வாழ்வு உள்ளிட்ட எல்லா பௌதிக நிகழ்ச்சிகளும் $\sqrt{1-v^2/c^2}$ மடங்கு தாமதிக்கப்படும்.

மாதிரிக் கணக்கு

A, B என்பவர்கள் 20 வயதுள்ள இரட்டையர்கள். B என்பவர் ஆர்க்டரஸ் (Arcturus) என்ற விண்மீனுக்கு $v = 0.99c$ என்ற திசைவேகத்துடன் ஒரு விண்வெளிப் பயணத்தை மேற்கொள்கிறார். புவியிலுள்ள ஆய்வாளர்களின் கருத்துப்படி ஆர்க்டரஸ் 40 ஒளி ஆண்டுகள் தொலைவில் உள்ளது. B அவரது விண்வெளிப் பயணத்தை முடிக்கும்போது A, B ஆகியோரின் வயதுகள் என்ன?

A-ன் அளவீட்டின்படி B-ன் பயணத்திற்கு ஒளியானது ஆர்க்

டரஸுக்குச் சென்று வருவதற்காகும் கால 80 ஆண்டுகளைவிட 1% அதிகமான கால அளவு தேவைப்படும். எனவே B திரும்பிவரும் போது A, $20 + 80.8 = 100.8$ வயதுள்ளவராக இருப்பார். மேலும் A-ன் கணக்கீட்டின்படி விண்வெளிக் கலத்திலுள்ள கடிகாரங்கள் $\sqrt{1-0.99^2} = \sqrt{0.02} = 0.141$ மடங்கு குறைவான நேரத்தைக் காட்டும். எனவே, விண்வெளிக் கலத்தினுள் பயணத்திற்கான நேரம் புவிநேரக் கணக்கீடான 80.8 ஆண்டுகளில் 0.141 மடங்கு அல்லது 11.4 ஆண்டுகளாகும். எனவே B அவரது பயணத்தின் இறுதியில் $20 + 11.4$ அல்லது 31.4 ஆண்டுகள் வயதுள்ளவராக இருப்பார். அதாவது புவியில் இருந்த அவரது சகோதரனைவிட 69.4 ஆண்டுகள் இளைஞராக இருப்பார்.

விண்வெளிப்பயணி அவரது காலம் மெதுவாகச் செல்வதை உணர்வதில்லை. B-க்கு லொரென்ட்ஸ் குறுக்கத்தின் பயனாய் ஆர்க்டரஸுக்கு உள்ள தொலைவு குறுகிக் காணப்படுகிறது. புவியிலிருந்து ஆர்க்டரஸுக்குள்ள தொலைவை அவர் 40 ஒளி ஆண்டுகளின் $\sqrt{1-0.99^2}$ மடங்காக அதாவது 5.64 ஒளி ஆண்டுகளாக அளவிடுகிறார். புவியானது $v = 0.99C$ என்ற அதே சார்புத் திசைவேகத்துடன் விலகிச் செல்வதையும் அவர் காண்கிறார். எனவே விண்வெளிக்கலத்திலுள்ள B, அவர் ஆர்க்டஸுக்கு செல்வதற்கு, ஒளியானது 5.64 ஒளி ஆண்டுகள் தொலைவைக் கடப்பதற்கு ஆகும் கால அளவைவிட 1% அதிகமான கால அளவுத் தேவைப்படும் எனக் கணக்கிடுகிறார். அதாவது புவியிலிருந்து ஆர்க்டரஸுக்குச் செல்வதற்கு 5.7 ஆண்டுகள் ஆகும் அல்லது புவியிலிருந்து ஆர்க்டரஸுக்குச் சென்று திரும்புவதற்கு 11.4 ஆண்டுகள் ஆகும் என விண்வெளிக் கலத்திலுள்ளவர் எண்ணுகிறார். இந்த முடிவு புவியிலுள்ள A-ன் கணக்கீடுகளுடன் ஒத்திருப்பதைக் காணலாம்.

எனினும், இங்கு நாம் ஒரு புதிரை விடுவிக்கவேண்டியுள்ளது. விண்வெளிப் பயணி புவியை நோக்கும்பொழுது புவியிலுள்ள கடிகாரங்கள் அவரது கடிகாரத்தைப் பொறுத்தவரை குறைந்த நேரத்தைக் காட்டவேண்டும். எனவே A வயது குறைந்தவர் என்ற முடிவை B அடைய வேண்டும். இது முன்னர் கூறப்பட்டதினின்றும் முரண்பட்டது. திசைவேகமானது உண்மையிலிருந்து சார்புடையதாயிருப்பின் சீரமைவற்ற முடிவுகளை எவ்வாறு பெற முடியும்? சீரமைவுக் கோட்பாட்டின்படி இரட்டையர் இருவர் அதே பருவத்தினராக இருக்கவேண்டாமா? எனவே முதல் நோக்கில் ஐன்ஸ்டீனின் விதிமுறைகள் அகமுரண்பாடுடையன போல் தோன்றுகிறது. இக்கணக்கே சரிசீரமைவற்றது என்பதை

நோக்குவோமாயின் இப்புதிர் மறைந்துவிடும். புவியிலுள்ள மனிதன் எப்போதும் ஒரே சுட்டமைப்பில் இருக்கிறுன். விண் வெளிப்பயணியோ அவனது பயணத்தின்போது சுட்டமைப்புக் களை மாற்றுகிறுன். ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடுகளைச் சரியாகப் பயன் படுத்துவோமாயின், விண்வெளிப்பயணியின் கணக்கீட்டின்படி புவி மனிதன் விரைவில் முதுமையடைகிறுன் என்ற முடிவையும் நாம் அடைகிறேம்.

இரட்டையர் புதிரைப்பற்றிய ஏனைய விபரங்களை டிஸ்கவரி என்ற பத்திரிகையின் 1957ஆம் ஆண்டு டிசம்பர் திங்கள் இதழில் H. பாண்டி (Bondi) என்பவரின் கட்டுரையில் காணலாம். சயன்ஸ் (science) பத்திரிகையின் 1957ஆம் ஆண்டு ஆகஸ்டு திங்கள் 30ஆம் நாளிட்ட இதழில் E. மாக்மில்லன் என்பவர் விண்வெளிப் பயணத்தில் பெறக்கூடிய கால நீட்டிப்பை நடை முறைப் பயனுள்ளதாக்க முடியாது என நிறுவியுள்ளார். ஒளி வேகத்திற்கு அண்மையிலுள்ள வேகங்களொழிந்த ஏனைய வேகங் களுக்குக் கால நீட்டிப்பு விளைவுகள் புறக்கணிக்கத் தக்கவையாய் உள்ளன. அத்தகைய பெருவேகங்களைப்பெற ஏறத்தாழ விண் வெளிக்கலத்தின் ஓய்வு நிறை ஆற்றலுக்குச் சமமான இயக்க ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது என்ற உண்மையைப் பகுதி 11-7-ல் காணலாம். அணுக்கருப் பிளவீட்டில் வெளிப்படும் ஆற்றல் முழு வதையும் 100% இயக்குதிறத்துடன் பயன்படுத்துவோமாயினும் அந்த ஆற்றல் தேவையான ஆற்றலைவிட மேலும் 100 மடங்கு குறைவாக இருக்கும்,

11-6 திசைவேகங்களின் ஐன்ஸ்டீன் கூட்டல் முறை

$$v + c = c$$

லொரென்ட்ஸ் குறுக்கமும் காலநீட்டிப்பும் லொரென்ட்ஸ் மாற்றத்தின் நேரடி விளைவுகளாகும். இந்த மாற்றச் சமன்பாடு கள் திசைவேகத்தை மாற்றலாம் என்பதை மதிப்பிடுகின்றன. காட்டாக ஒரு குறிப்பிட்ட சுட்டமைப்பில் (படம் 11-9-ல் உள்ள ஜெட்விமானத்தைப்போன்று) ஒரு பொருள் u என்ற திசைவேகத் துடன் இயங்குவதாகக் கொள்வோம். v என்ற திசைவேகத் துடன் இயங்கும் ஒரு ஆய்வாளர் அளவிடக்கூடிய விமானத்தின் திசைவேகம் u' ன் மதிப்பு என்னவாக இருக்கும். முது பௌதி கத்தின் $u' = u + v$ ஆகும். ஆனுல் ஐன்ஸ்டீன் கோட்பாட்டின்படி

திசைவேகங்களின் ஐன்ஸ்டீன் கூட்டல்

$$u' = \frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}} \qquad (11.7)$$

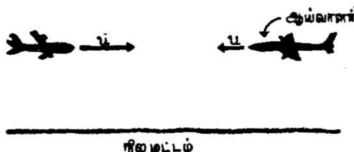
லொரென்ட்ஸ் மாற்றச் சமன்பாடுகளுள் x'க்கான சமன்பாட்டை t'க்கான சமன்பாட்டால் வகுப்பதன் மூலம் இச்சமன்பாட்டை எளிதில் பெறலாம் ($u' = x'/t'$, $u = x/t$).

மாதிரிக் கணக்கு 1

படம் 11-9-ல் உள்ள இரு ஜெட் விமானங்களின் தரையைப் பொறுத்த வேகங்கள் $u = 2000$ mph, $v = 1000$ mph எனக் கொள்வோம். இரண்டாவது விமானத்தைப் பொறுத்து முதல் விமானத்தின் திசைவேகம் என்ன?

$$u' = \frac{2000 + 1000}{1 + \frac{2 \times 10^6}{c^2}} = \frac{3000}{1 + 4.5 \times 10^{-12}}$$

$$= 2999.999999986 \text{ mph}$$



படம் 11-9

தரையைப் பொறுத்து u, v என்ற திசைவேகங்களுடன் இயங்கும் இரு ஜெட் விமானங்கள். ஆய்வாளர் விமானமானது இடப்புறமுள்ள ஜெட் விமானம் அதனை நோக்கி $(u+v)$-ஐவிடக் குறைவான u' என்ற வேகத்துடன் வருவதாக மதிப்பிடுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 2

நியூட்ரினோ எனப்படும் அடிப்படைத் துகள் ஒன்று ஒளிவேகத்துடன் இயங்குகிறது ($u = c$). ஆய்வாளர் ஒருவர் நியூட்ரினோவை நோக்கி v என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்குகிறார். ஆய்வாளர் அளவிடக்கூடிய நியூட்ரினோவின் திசைவேகம் என்ன?

$$u' = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = \frac{c + v}{\frac{1}{c}(c + v)} = c$$

c என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கும் ஒளி (அல்லது வேறு எதுவாயினும்) மற்ற எல்லா ஆய்வாளருக்கும், அவர்கள் எவ்வளவு வேகமாக இயங்கினாலும், c என்ற திசைவேகத்தைப் பெற்றிருப்பதாகவே தோன்றும் என்று இக் கணக்கிலிருந்து தெளிவாகிறது.

மைக்கல்ஸன்-மார்லிச் சோதனையின் முடிவுகள் இவ்விதமாக விளக்கப்படுகின்றன. எப்பொருளும் ஒளிவேகத்தை மிஞ்சிய வேகத்தைப் பெற்றிருக்க முடியாது என்பது ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடுகளிலிருந்து கிடைக்கப்பெற்ற ஒரு அடிப்படை முடிவாகும். உண்மையில், ஒரு பொருள் ஒளியின் வேகத்தை நெருங்குமாயின் லொரெட்ஸ் குறுக்கத்தின் பயனாய் அதன் பருமன் சுழியாகும். மேலும் சமன் 11-7-ன்படி ஒரு பொருளுக்கு எவ்வளவு அதிகமான திசைவேகத்தைக் கொடுத்தாலும் அதன் திசைவேகம் u' ஆனது c-ஐ விட அதிகமாக முடியாது. இனி, விசையியலை ஐன்ஸ்டீனின் மாற்றச் சமன்பாடுகளுக்கு ஏற்புடைத்தாக்க என்னென்ன மாற்றங்கள் தேவை என்று காண்போம்.

11–7 சார்பியல் விசையியல்

கைக்கெட்டியும் வாய்க்கெட்டாத வரம்பிலா ஆற்றல்

நியூட்டன் விதிகளின்படி இருபொருட்கள் செயலெதிர்ச் செயற்படும்பொழுது $(M_1v_1 + M_2v_2)$ என்ற அளவு செயலெதிர்ச் செயலுக்கு முன்னும் பின்னும் ஒரே மதிப்பைக் கொண்டுள்ளது. நியூட்டன் விதிகளின் பயனாய் கிடைக்கப்பெற்ற இக்கருத்து உந்தம் அழிவின்மை விதி என அழைக்கப்பட்டது. ஆனால் ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடுகளின்படி (முதுகருத்துப்படி – Classical view - M_1, M_2 மாறிலிகள் எனக் கொள்வோமாயின்)$(M_1v_1 + M_2v_2)$ என்ற அளவு மோதலுக்குப் பிறகு கூடவோ குறையவோ செய்யலாம். (இனி முதுநிறைகளை – Classical masses - $(M_1)_0$, $(M_2)_0$ எனக் குறிப்பிடுவோம்). எனினும் லொரென்ட்ஸ் மாற்றத்தின் பயனாய் செயலெதிர்ச் செயலுக்குப் பிறகு மாறாமல் இருக்கக்கூடிய ஒரு அளவும் உள்ளது. அதாவது

$$\frac{(M_1)_0\, v_1}{\sqrt{1-v_1{}^2/c^2}} + \frac{(M_2)_0\, v_2}{\sqrt{1-v_2{}^2/c^2}}$$ என்னும் அளவு மாறாதது.

எனவே $\frac{M_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ என்ற அளவு நிறையாக வரையறுக்கப்பட்டால் உந்தமானது இன்னமும் அழியாமல் இருக்கும். இப்பொழுது முதல் இந்த இயலில் ஒரு பொருள் ஓய்வில் இருக்கும் பொழுது அளவிடப்படும் அதன் நிறையை M_0 எனக் குறிப்பிடுவோம். இனி ஐன்ஸ்டீன் கொள்கைப்படி v என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கும் ஒரு பொருளின்

சார்பியல் நிறை

$$M = \frac{M_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (11\text{-}8)$$

ஜெட்விமானங்கள், விண்வெளி ராக்கெட்டுகள் ஆகியவற்றின் திசைவேகங்களுக்குக்கூட ஒரு பொருளின் நிறையில் ஏற்படும் மாறுபாடு அளவிட முடியாத அளவுக்குச் சிறியதாயுள்ளது. எனினும் நவீனகாலத்திய உயர் ஆற்றல் முடுக்கிகளின் உதவியால் அடிப்படைத் துகள்களை ஒளிவேகத்திற்கு ஏறத்தாழ சமமான வேகங்களுக்கு முடுக்க முடிகிறது. இதுவரை கிடைக்கப்பெற்ற மிக அதிகமான திசைவேகமானது கார்னெல் பல்கலைக் கழகத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான் சின்க்ரோட்ராஞல் முடுக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களின் திசை வேகமேயாகும். இந்த கார்னெல் எலெக்ட்ரான்கள் $v = 0.99999992\,c$ என்ற திசைவேகத்தை அடைகின்றது.

மாதிரிக் கணக்கு

கார்னெல் எலெக்ட்ரான்களின் நிறை என்ன?

$$M = \frac{M_0}{\sqrt{1-(0.99999992)^2}} = \frac{M_0}{\sqrt{0.00000016}} = \frac{M_0}{4\times 10^{-4}}$$

$$M = 2500\ M_0$$

எனவே கார்னெல் எலெக்ட்ரான்கள் அவை ஓய்விலிருந்தபொழுது பெற்றிருந்த நிறையைப்போல் 2500 மடங்கு நிறையைப் பெறுகின்றன.

நாம் அடிக்கடி மேற்கூறப்பட்ட கணக்கின் மறுதலையைக் காண நேரிடுகிறது. அதாவது நிறை மிகுதிப்பாடிலிருந்து திசை வேகத்தைக் கணக்கிட வேண்டியிருக்கும். இதனைப் பின்வருமாறு செய்யலாம்:

சமன் 11.8-ன் இருமடி காண்போமாயின்

$$M^2 = \frac{M_0^{\ 2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{M_0}{M}\right)^2$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{M_0}{M}\right)^2$$

$$\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \left(\frac{M_0}{M}\right)^7} \qquad (11\text{-}9)$$

லொரென்ட்ஸ் மாற்றச் சமன்பாடுகளின் மற்றொரு விளைவு என்னவெனில் இரு துகள்கள் செயலெதிர்ச் செயற்படும்பொழுது மொத்தச் சார்பியல் நிறையானது மாருமலிருக்கிறது; அதன்

பயனாய் $(M_1c^2+M_2c^2)$-ன் மதிப்பு மாருமல் இருக்கிறது என்ப தாகும். இதனை ஆற்றல் அழிவின்மை விதி என ஐன்ஸ்டீன் உறுதிப்படுத்திய தோடன்றி இந்த வாய்பாடு சிறிய திசை வேகங் களுக்கு ஆற்றல் அழிவின்மை விதிக்கான பழைய வடிவை நெருங்கு கிறது எனவும் நிறுவினார். ஒரு துகளின் ஆற்றல்
ஐன்ஸ்டீன் நிறை-ஆற்றல் தொடர்பு

$$W=Mc^2 \qquad (11\text{-}10)$$

என ஐன்ஸ்டீன் எடுத்துரைத்தார். சமன் 11-3-ஐப் பதிலீடு செய்வதன்மூலம் ஆற்றலை முற்றிலும் திசைவேகத்தின் சார்பலனாக

$$W=\frac{M_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (11\text{-}11)$$

என எழுதலாம். இந்நிலையில் இந்த வாய்பாடு ஆற்றுலுக்கான $W=\frac{1}{2}Mv^2$ என்னும் முதுவாய்பாட்டிலிருந்து மாறுபட்டிருப் பதாகத் தோன்றுகிறது. 341 ஆம் பக்கத்தில், சமன் 11-11-க்கும் முதுதொடர்பான $\frac{1}{2}Mv^2$-க்கும் உள்ள தொடர்பை நிறுவுவோம். $v=0$ என்றாலும் நிறையானது

$$W_0=M_0c^2 \qquad (11\text{-}12)$$

என்ற ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது எனச் சமன் 11.11 கூறுகிறது. இந்த ஆற்றலை உள்ளார்ந்த ஓய்வாற்றல் (Intrinsic rest energy) என ஐன்ஸ்டீன் விளக்கினார். M_0 அளவுள்ள ஓய்வு நிறை அழிக்கப் படுமாயின் M_0c^2 அளவு ஆற்றல் வெளியிடப்பட வேண்டும் என அவர் கூறினார். அணு குண்டுகளின் பேராற்றல் வெளியீட்டிற்கு ஓரளவு ஓய்வு நிறையானது இவ்வாறு நேரடியாக ஆற்றலாக மாற்றப்படுவதே காரணமாகும். இவ்வகையில் பெறக்கூடிய ஆற்றலின் அளவுக்கு கடுமையான கட்டுப்பாடு ஒன்று உள்ளது. எடைமிக்க துகள்கள் அழிவின்மை விதியின்படி எந்த செய லெதிர்ச் செயலிலும் புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள் ஆகிய வற்றின் மொத்த எண்ணிக்கை மாருமல் இருக்க வேண்டும். இதன் பயனாய் ஒரு கிராம் மணலிலிருந்து 9×10^{20} எர்குகள் ஆற்றலைப் பெறுவதற்கான வழியேதும் இருப்பதற்கில்லை.

மாதிரிக் கணக்கு 1

ஒரு கிராம் மணலில் அடங்கிய ஆற்றல் எவ்வளவு? இது ஒரு கிராம் நிலக்கரியை எரிப்பதால் கிடைக்கும் 7000 கேலரியைப் போல் எத்தனை மடங்கு?

ஒரு கிராமில் உள்ள ஓய்வு ஆற்றல்

$$W = 1\text{கி} \times (3 \times 10^{10} \text{ செ.மீ/வி})^2 = 9 \times 10^{20} \text{ எர்குகள்}$$

நிலக்கரியை எரிப்பதால் வெளிப்படும் ஆற்றல்

7000 கேலரிகள் $\times 4.18 \times 10^7$ எர்குகள்/கேலரி = ஆற்றலைப் 2.9×10^{11} எர்குகள் எனவே ஓய்வு ஆற்றலானது ரசாயன போல் 3.1×10^9 மடங்காகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 2

ஒரு டன் TNT வெடிக்கும்பொழுது 10^9 கேலரிகள் வெப்பம் வெளியாகிறது. ஒரு மெகாடன் குண்டு ஒன்றில் எவ்வளவு நிறை ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது?

ஒரு டன் TNT வெடிக்கும்பொழுது ஏற்படும் நிறை குறைவு

$$M = \frac{W}{c^2} = \frac{10^9 \times 4.18 \times 10^7 \text{ எர்குகள்}}{9 \times 10^{20} \text{ செ.மீ}^2/\text{வி}^2} \; 4.6 \; 10^{-5}\text{கி}$$

ஒரு மெகாடன் குண்டு ஒன்றில் ஆற்றலாக மாற்றப்படும் நிறை இதைப்போல் ஒரு மிலியன் மடங்கு அல்லது 46 கி. ஆகும். உண்மையில் அத்தகைய குண்டிற்குத் தேவைப்படும் பிளவுறு பொருளின் (Fissionable material) நிறை இதைப்போல் ஏறத்தாழ 1000 மடங்காகும். அணுக்கரு வெடிப்பு ஒன்றில் புரோட்டான் கள், நியூட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் மொத்த எண்ணிக்கை மாறாமல் இருக்கவேண்டும். இக்கருத்தைப் பற்றிய மற்ற விபரங் களை இயல் 15-ல் காணலாம்.

இயக்க ஆற்றல் என்பது இயக்கத்தால் விளையும் ஆற்றல் என்ற இயக்க ஆற்றலுக்கான நமது வரையறையில் மாறுதல் எதுவும் கிடையாது. மொத்த ஆற்றலிலிருந்து ஓய்வு ஆற்றலைக் கழிப்பதன் மூலம் இயக்கத்தால் விளையும் ஆற்றலைப் பெறலாம். அதாவது

$$\text{KE} = W - W_0$$

இச் சமன்பாட்டை, சமன்பாடுகள் 11-8, 11-10 ஆகியவற்றைப் பயன்படுத்தி முற்றிலும் திசைவேகத்தின் சார்பலனாக எழுதலாம். அதாவது

$$\text{KE} = Mc^2 - M_0c^2$$

$$\text{KE} = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1\right)M_0c^2$$

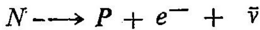
அல்லது $$\text{KE} = \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} - 1\right]M_0c^2$$

இப்பொழுது சிறிய திசைவேகங்களுக்கு KE-ன் மதிப்பு $\frac{1}{2}M_0v^2$ என்ற மதிப்பை நெருங்குகிறது என நிறுவுவோம். v/c. 1-ஐ விட மிகவும் குறைவாக இருக்கும்பொழுது பைனுமியல் தேற்றத்தின் படி* (Binomial theorem) $(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$-ஐ $[1 + \frac{1}{2}(v^2/c^2)]$ என எழுதலாம். எனவே

$$KE = \left[\left(1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}\right) - 1\right]M_0c^2$$
$$= \frac{1}{2}M_0v^2$$

இது இயக்க ஆற்றலுக்கான நாமறிந்த பழைய கோவையேயாகும். கதிரியக்கச் சிதைவில் வெளிப்படும் ஆற்றலைக் கதிரியக்கச் சிதைவுக்கு முன்னுள்ள அணுக்கருவின் நிறைக்கும் சிதைவில் கிடைக்கப் பெறும் விளைபொருட்களின் மொத்த நிறைக்கும் உள்ள நிறை வேறுபாட்டுடன் ஒப்புநோக்குவதன்மூலம் முதல்முதலாக ஐன்ஸ்டீனின் நிறை ஆற்றல் தொடர்பு நிரூபிக்கப்பட்டது. $W = Mc^2$ என்ற தொடர்பை சோதனைச்சாலையில் எவ்வாறு நிரூபிக்கலாம் என்பதற்கோர் எடுத்துக்காட்டாக எளியதொரு பீட்டாச்சிதைவைக் கருதுவோம். கட்டற்ற நியூட்ரான் ஒன்று ஒரு புரோட்டான், ஒரு எலெக்ட்ரான், ஒரு ஆண்டி நியூட்ரினோ (ஆன்டி நியூட்ரினோவின் $\bar{v}$ ஓய்வுநிறை சுழியாகும்) ஆகியவையாகச் சிதைவுறுகிறது.

அதாவது



$$N \longrightarrow P + e^- + \bar{v}$$

சிதைவின் போது 1.25×10^{-6} எர்க் ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. நியூட்ரானின் ஓய்வு நிறையானது புரோட்டான் எலெக்ட்ரான் ஆகியவற்றின் மொத்த ஓய்வு நிறையை விட 13.9×10^{-28} கி அதிகமாக உள்ளது. இந்த நிறைவேறுபாட்டிற்குரிய ஆற்றல் $W = 13.9 \times 10^{-28} \times c^2 = 1.25 \times 10^{-6}$ எர்க் ஆகும். நிறை வேறுபாட்டிற்குரிய இந்த ஆற்றலானது சிதைவில் தோன்றிய விளைபொருட்களின் அளவீட்டு நுட்பத்திற்குட்பட்டு (within accuracy of measurement) பதிவு செய்யப்பட்ட இயக்க ஆற்றலுக்கு (1.25×10^{-6} எர்க்)ச் சமமாயிருப்பதைக் காணலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 1

ஒரு துகள் அதன் ஓய்வு ஆற்றலுக்குச் சமமான இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. அதன் திசைவேகம் என்ன?

*பைனுமியல் தேற்றத்தின்படி $(1+a)^n$ என்பதை

$$(1 + a)^n = 1 + na + \frac{n(n-1)}{1.2}{}^2a + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

என விரித்தெழுதலாம்.

$$W = \mathrm{KE} + M_0c^2$$

$\mathrm{KE} = M_0c^2$ ஆதலால்

$$Mc^2 = M_0c^2 + M_0c^2$$

$$\frac{M_0}{M} = \frac{1}{2}$$

சமன் 11-9-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2} = \sqrt{\frac{3}{4}}$$

$$v = \frac{\sqrt{3}}{2}\,c = 0.866c$$

மாதிரிக் கணக்கு 2

புரோட்டான் முடுக்கியான பீவாட்ரான் ஒன்று புரோட்டான்களுக்கு 10^{-2} எர்க் இயக்க ஆற்றலை அளிக்கிறது. அத்தகைய புரோட்டான்களின் நிறை எவ்வளவு அதிகமாகும்? புரோட்டானின் ஒய்வு நிறை 1.67×10^{-24} கி.

முதலில் புரோட்டானின் ஒய்வாற்றலைக் கணக்கிடுவோம்.

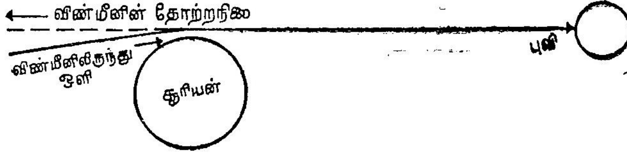
$$M_0c^2 = 1.67 \times 10^{-24} \times (3 \times 10^{10})^2 = 1.5 \times 10^{-3} \text{ எர்குகள்}$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{Mc^2}{M_0c^2} = \frac{\mathrm{KE} + M_0c^2}{M_0c^2} = \frac{10^{-2} + 1.5 \times 10^{-3}}{1.5 \times 10^{-3}} = 7.68$$

எனவே பீவாட்ரான் புரோட்டான்கள் சாதாரண புரோட்டான்களைவிட 7.68 மடங்கு எடையுள்ளவை என்பதைக் காணலாம்.

இறுதியாக எவ்வகை ஆற்றலும் அதற்குரிய $M = W/c^2$ என்ற ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கவேண்டும் என்று கூறி இத்தலைப்பை முடிப்போம். காட்டாக W என்பது ஒளியின் ஆற்றல் எனில் சுழி ஒய்வு நிறையைக் கொண்ட ஒளி அலைகள் அந்த அற்றலின் பயனாய் W/c^2 என்ற நிறையைக் கொண்டிருக்கவேண்டும். கொள்கையளவில் நோக்குவோமாயின் பூரண பிரதிபலிப்புத் தன்மை கொண்ட சுவர்களையுடைய ஒரு பெட்டியினுள் ஒளியைப் பிடிப்பதன்மூலம் அதன் நிறையை அளவிடலாம். பெட்டியினுள் ஒளி இல்லாதபோது உள்ள அதன் நிறையைவிட ஒளியைப்பிடித்தபின் உள்ள நிறை அதிகமாக இருக்க வேண்டும். எனினும் நாம் பெற்றுள்ள மிகத் துல்லியமான கருவிகளாலும் அளவிட முடியாத அளவுக்கு

அந்த நிறைவேறுபாடு மிகவும் சிறியதாக உள்ளது. ஆனால் ஒளியின் நிறையினால் ஏற்படக்கூடிய விளைவு ஒன்று அளவிடப் பட்டுள்ளது. ஒளி அலைகளுக்கு நிறை இருக்குமாயின் ஈர்ப்பு விசையின் பயனாய் அவை சூரியனை நோக்கி ஈர்க்கப்படவேண்டும்.



படம் 11-10

சூரியனின் ஈர்ப்புப் புலத்தில் ஒளிவளைதல்

ஒளியானது சூரியனை நோக்கி இவ்வாறு வளைவதன் பயனாய் சூரிய னுடன் ஏறத்தாழ நேர்கோட்டில் அமையும் விண்மீன்களின் தோற்றநிலைகளில் காட்சிப் பதிவுச் செய்யக்கூடிய அளவுக்கு தோற்றவியல் இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படுகிறது. இதனைச் சூரிய கிரகணத்தின்போது அளவிடலாம் (படம் 11-10).

11-8 பொதுச் சார்பியல் (General relativity)

சார்பியல் ஈர்ப்பு (Relativistic gravity)

பொதுச் சார்பியல் கொள்கையினின்றும் வேறுபடுத்திக் காட்டும் வகையில் இதுவரை நாம் அறிந்த ஐன்ஸ்டீனின் சார்பியல் கொள்கை சிறப்புச் சார்பியல் கொள்கை (Special theory) என அழைக்கப்படுகிறது. சிறப்புக் கொள்கையை வெளி யிட்ட ஆறு ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் 1911ஆம் ஆண்டில் பொதுச் சார்பியல் கொள்கையின் முதற் பகுதியை ஐன்ஸ்டீன் வெளியிட்டார். பொதுச் சார்பியல் கொள்கையானது உண்மை யிலேயே ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய புதுமையான சார்பியல் கொள்கை யாகும்.

ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய நியூட்டனின் கொள்கையின்படி $F = GM_1 M_2/r^2$ என்னும் விசை கணப்பொழுதில் செயற்படும் விசை யாகும். ஒரு விசை கணப்பொழுதில் செயற்படமுடியும் எனில் ஒரு சைகை அல்லது ஆற்றலை கணப்பொழுதில் பரப்பமுடியும் எனப் பொருள்படும். இது சார்பியல் கொள்கையின் அடிப் படைத் தத்துவங்களுள் ஒன்றிற்கு அதாவது, ஆற்றலானது, ஏன், ஒரு சைகைகூட ஒளிவேகத்தை மிஞ்சிய வேகத்துடன் செல்ல முடியாது என்ற தத்துவத்திற்கு முரண்படுகிறது. இவ்வாறாக, ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய சார்பியல் கொள்கையின் சிக்கல் ஒன்றைத்

தீர்க்கவேண்டிய நிலை ஐன்ஸ்டீனுக்கு ஏற்பட்டது. அவரது புதிய கொள்கை சார்பியல் கொள்கைக்கு ஏற்ப அமைவதோடு ஈர்ப்பியல் நிறையானது எப்போதும் நிலைம நிறைக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும் என்ற முடிவையும் இயல்பாகவே தரவேண்டும் என்ற முடிவையும் தரவேண்டும் என அவர் உறுதி பூண்டார். ஐன்ஸ்டீனின் உறுதிப்பாடு இணைமாற்றத் தத்துவம் (Principle of equivalence) என்னும் தத்துவத்தை அமைக்குமாறு அவரைத் தூண்டியது. அத் தத்துவத்தின்படி ஈர்ப்புப் புலத்தில் இருப்பதென்பது முடுக்கப்பட்ட சுட்டமைப்பு ஒன்றில் இருப்பதற்குச் சமமாகும். காட்டாக, சுடப்பட்டு, முடுக்கத்துடன் மேல்நோக்கிச் செல்லும் ராக்கெட்டு ஒன்றில் உள்ள ஒரு பயணிக்கு ஈர்ப்பு விசைத் திடீரென அதிகமாகிவிட்டதாகத் தோன்றுகிறது. புவியைப் பொறுத்து $a = 2g$ என்ற முடுக்கத்துடன் புறப்படும் ஒரு ராக்கெட்டில் உள்ள பயணிகள் உட்பட எல்லாப் பொருள்களும் அவற்றின் இயல்பான எடையைப்போல் மூன்று மடங்கு எடையைக் கொண்டிருக்கும். இத்தகைய 'போலி ஈர்ப்பியல்' விசையானது நிலைம நிறைக்குச் சற்றும் பிழையின்றி நேர்விகிதத்திலுள்ளது. ராக்கெட்டில் நிகழ்த்தப்படும் எந்தச் சோதனையும் புவியின் ஈர்ப்பு விசையானது திடீரென மூன்று மடங்காகி விட்டதா அல்லது புவியைப் பொறுத்து ராக்கெட் முடுக்கம் பெற்றுள்ளதா என்பதை ராக்கெட்டிலுள்ளவர்களுக்கு அறிவிக்காது.

இந்நூலுக்குப் பெரிதும் அப்பாற்பட்ட கணித முறையைப் பயன்படுத்தி இணைமாற்றுத் தத்துவத்தை பொதுச் சார்பியல் கொள்கையுடன் ஐன்ஸ்டீன் இணைத்தார். இந்தக் கணிதவியல் விளக்கத்தின்படி கட்டின்றிச் செல்லும் எல்லாப் பொருட்களும் அதே வளைவுப் பாதைகளில் செல்லும் வகையில் எந்த நிறையும் அதைச் சுற்றியுள்ள வெளியிடப் பகுதியை 'உருக்குலைவிக்கும், (Distort). முதுகொள்கையின்படி வளைவுப் பாதையில் செல்லும் எப்பொருளும் முடுக்கப்பெற்று ஒரு விசைக்குட்பட்டிருக்கும். பொதுச் சார்பியல் கொள்கையின்படி வெளியிடத்தின் ஒரு பண்பாக அமைந்த இந்த முடுக்கமே ஈர்ப்பியலை விளக்குகிறது. வெளியிடமே 'உருக்குலை'வதால் எல்லா நிலைம நிறைகளின் மீதான விளைவும் ஒரே மாதிரியாக இருக்கும். எனவே இணைமாற்றுத் தத்துவம் இயல்பாகவே நிறைவு பெறுகிறது.

இக்கொள்கையின் விளைவுகளுள் ஒன்று: ஒளியானது ஒரு பொருளை விட்டு நீங்கும்பொழுது ஒளியின் நிலைமநிறை மீது அப்பொருள்செயற்படுத்தும் ஈர்ப்புவிசையை வெற்றி கொள்வதில் ஆற்றலை இழக்கிறது என்பதாகும். இயல் 12-ல் கூறப்பட்டுள்ளவாறு

ஒளியானது ஆற்றலை இழக்கும்பொழுது அதன் அலைநீளம் அதிகமாகிறது. இவ்விளைவு ஈர்ப்பியல் செந்நிறப்பெயர்ச்சி (gravitational red shift) எனப்படும். சூரியன் மற்றும் எடைமிக்க விண்மீண்களின் நிறமாலைக் கோடுகளில் அத்தகைய பெயர்ச்சி காணப்படுகிறது. எனவே, ஒரு அணுக்கடிகாரத்தைப் புவியிலிருந்து சூரியனுக்கு எடுத்துச் சென்றால் சூரியனில் அது மெதுவாக இயங்கும். நம் கருத்திற்கிணங்க ஈர்ப்புப் புலத்தில் உள்ள எல்லா கடிகாரங்களும் மெதுவாக இயங்கவேண்டும் எனப் பொதுச் சார்பியல் கொள்கை கூறுகிறது. உண்மையில் முழுதும் ஒத்த இரு அணு கடிகாரங்களை ஒரு மீட்டர் உயர வேறிபாட்டில் புவிமீது அமைப்போமாயின் அவற்றுள் குறைந்த உயரத்தில் உள்ள கடிகாரம் 10^{16}-ல் ஒரு பங்கு மெதுவாகச் செல்லும். படிகத்தில் பதிக்கப்பட்ட கதிரியக்க அணுக்கருக்களிலிருந்து வெளிவிடப்படும் புரோட்டான்களின் உதவியால் (இயல் 15) மேற்கூறப்பட்ட அளவு நுட்பத்துடன் 1960-ல் முதன்முதலாக அடுக்கப் படித்தரங்கள் (frequency standards) அமைக்கப்பட்டன. அத்தகைய துல்லியமான அடுக்கங்களை அளிக்கவல்ல நிகழ்ச்சி மாஸ்பர் (Mossbauer effect) விளைவு எனப்படும்.

இந்நாள்வரை பொதுச் சார்பியல் கொள்கையைச் சோதனை மூலம் நிருபிக்க முடியவில்லை. எனினும் மேற்கூறப்பட்ட புதிய அடுக்கப் படித்தரங்களை அமைத்த பின்னர் ஆய்வுக்கூடத்தில் நிகழ்த்தப்பட்ட சோதனைகள் ஈர்ப்பு விசையின் பயனுய் காலம் தாமதிக்கப்படுகிறது என நிறுவின. அத்தகைய சோதனைகளுள் முதலாவது 1960-ல் ஹார்வர்டு பல்கலைக் கழகத்தில் 70 அடிக் கோபுரம் ஒன்றில் செய்யப்பட்டது.

பொதுச் சார்பியல் கொள்கயை மெய்ப்பிக்க முயலும் மற்ற சோதனைகள் பல்லாண்டுகட்கு முன்பு (இந்நூற்றுண்டின் தொடக்கத்தில்) செய்யப்பட்டன. அவையாவன: சூரியனை நோக்கி ஒளிப்பாதை வளைதல் (படம் 11-10), எடைமிக்க விண்மீன்களின் நிறமாலைகளில் செந்நிற பெயர்ச்சி, புதன்கோள்பாதை அண்மைப் புள்ளியின் முந்து நிகழ்வு (advance in the perihelion of Mercury) ஆகியவையாகும். பொதுச்சார்பியல் கொள்கை இன்னமும் சரியாக மெய்ப்பிக்கப்படவில்லை என்று கூறப்படும் அளவுக்கு மேற்கூறப்பட்ட சோதனைகளின் முடிவுகள் துல்லியம் குறைந்தனவாக உள்ளன. மாறுக சிறப்புச் சார்பியல் கொள்கை ஐயமற மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

11-9 மாக் தத்துவம் (Mach's principle)

முடுக்கம் சார்பற்றதா?

சார்பிலா திசைவேகம் என்ற எதுவும் கிடையாது என நாம்

அறிந்தோம். மாருக, நவீன சார்பியல் கொள்கையின்படியும் முடுக்கமானது சார்பற்றதாகும். சார்பிலா முடுக்கத்தின் அளவை முடுக்கமானி (accelerometer) என்னும் கருவியைக் கொண்டு அளவிட முடியும். திருகுச் சுருள்வில் ஒன்றின் முனையில் இணைக்கப்பட்ட நிறை ஒன்றை ஒரு எளிய முடுக்கமானியாகப் பயன்படுத்தலாம். வில் மாறிலியையும் நிறையின் மதிப்பையும் அறிவோமாயின் வில்லின் விரிவிலிருந்து முடுக்கத்தை மதிப்பிடலாம். ஒருவரைப்பொறுத்து ஒருவர் முடுக்கம் பெற்றிருக்கும் வெவ்வேறு ஆய்வாளர்களைக் கருதுவோம். இருக்கக்கூடிய எண்ணற்ற சார்பு முடுக்கங்களின் அளவிடப்படும் முடுக்கம் சுழியாக இருக்கக்கூடிய ஒரு சுட்டமைப்பு இருக்கும். அத்தகைய சுட்டமைப்பு நிலைம அமைப்பு எனப்படுகிறது. நியூட்டனின் விதிகள் அத்தகைய நிலைம அமைப்பில் மட்டுமே ஏற்புடைத்தவை என நியூட்டனே கூறியுள்ளார். நிலைம அமைப்பு என்பது "நிலையான" விண்மீன்களைப் பொறுத்தவரை முடுக்கம் கொண்டிராத ஒரு சுட்டமைப்பு என அவர் வரையறுத்தார்.

நிலைம அமைப்பின் சார்பிலாத்தன்மை என்னும் இக் கருத்து எர்ண்ஸ்ட் மாக் (Ernst mach) போன்ற சில மெய்யுணர்விகளை உறுத்தியது. பொதுவாக முடுக்கமானது சார்பற்றது அல்ல; ஆனால் அதனை அண்டத்திலுள்ள பொருட்களின் தோற்றப்பாடு (Configuration) மூலம் மதிப்பிடலாம் என மாக் எடுத்துரைத்தார். மாக் தத்துவத்தின்படி அண்டத்திலுள்ள நிறைப் பங்கீடு (Mass distribution) திடீரென மாற்றப்படுமாயின் முடுக்கங்களின் மதிப்பும் மாறும். அதன் பயனாய் நிலைம அமைப்பாய் இருந்த ஒன்று தொடர்ந்து அவ்வாறு இருக்காது. ஒரு பொருளின் நிலைம நிறையின் மதிப்பானது அண்டத்திலுள்ள மற்ற எல்லா நிறைகளாலும் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது எனவும் மாக் எடுத்துரைத்தார். மாக் தத்துவத்துடன் ஏற்புடைத்தான ஒரு கொள்கை என்னவெனில், நிறையற்ற அண்டத்திலுள்ள ஒற்றைப் பொருளொன்றின் நிலைம நிறை சுழியாகும் என்பதாம். அவ்வாறாயின் எல்லா சுட்டமைப்புகளும் நிலைம அமைப்புகளாகும்.

இந்நாள் வரை மாக் தத்துவமானது சிறிதும் மெய்ப்பிக்கப்படாமல் கருத்து மாறுபாட்டிற்குரியதாகவே உள்ளது.

11 - 10 அண்டவியல் (Cosmology)

படைப்பு திடு நிகழ்வா அல்லது தொடர் நிகழ்வா?

இணைமாற்றுத் தத்துவம், பொதுச் சார்பியல் கொள்கை, மாக் தத்துவம் ஆகியவற்றால் எழுப்பப்படும் வினாக்கள் அண்டத்

தின் தோற்றம், அளவு, அமைப்பு ஆகியவற்றைப் பற்றிய வினுக்களுடன் மிகவும் நெருக்கமாகத் தொடர்பு கொண்டுள்ளன. அண்டத்தின் அளவு வரம்பற்றதா அல்லது வரம்பிற்குட்பட்டதா? நமது சூரிய மண்டலம், நட்சத்திர மண்டலம் (Galaxy) ஆகியவற்றின் வயது என்ன? அவை எவ்வாறு உருவாக்கப்பட்டன. இன்னும் எத்தனை நட்சத்திர மண்டலங்கள் உள்ளன: அவை எவ்வகையில் பரவியுள்ளன? அவை எங்கிருந்து வந்தன? இந்த நட்சத்திர மண்டலங்கள் உருவாகும் முன் அண்டம் எவ்வாறு இருந்தது? மிகவும் அடிப்படையான இவ் வினுக்களுக்கான விடைகளைப் பற்றி ஆராயும் பௌதிகப் பகுதி அண்டவியல் எனப்படுகிறது. அப் பகுதி மிக விரைவாக விரிவடைந்து வருகிறது. காட்டாக, சென்ற ஐந்து ஆண்டுகளில் நமது நட்சத்திர மண்டலத்தின் வயது ஐந்து ஆண்டுகள் 'அதிகமாகவில்லை'; மாருக 10 பில்லியன் ஆண்டுகள் அதிகமாகி யிருக்கிறது. நமது பால் மண்டலத்தின் (Milky way galaxy) வயதிற்கான தற்கால மதிப்புகளுள் மிகச் சிறந்த மதிப்பு ஏறத்தாழ 20 பில்லியன் ஆண்டுகளாகும்; நமது புவியின் வயதோ 4.5 பில்லியன் ஆண்டுகளாகும்.

அண்டத்தின் தோற்றம், அளவு ஆகியவற்றைப் பற்றித் தற்காலத்திலுள்ள கொள்கைகள் மாறிக்கொண்டே யிருக்கின்றன. அவை உறுதியான சோதனைகளின் அடிப்படையில் அமைந்தவை அல்ல. எனினும் அடுத்த பத்தாண்டுகளில் புதிய கண்டுபிடிப்புகள் தற்காலக் கொள்கைகளுள் ஒன்றை நேரிய வகையில் உறுதிப்படுத்தி மற்றவற்றைத் தள்ளிவிடக்கூடிய அளவுக்கு அண்டவெளியைப் பற்றிய நமது அறிவு மிக விரைவாக முன்னேறிக் கொண்டுள்ளது என்ற புகழ்பெற்ற அண்டவெளி நிபுணர்கள் கருதுகிருர்கள்.

இத் தலைப்பின் எஞ்சிய பகுதியில் சோதனை முடிவுகளைப்பற்றி ஆராய்வோம். பாலமர் குன்றிலுள்ள (Mt Palomar) 200 அங். தொலைநோக்கியால் அண்டவெளியின் ஏறத்தாழ 6 பில்லியன் ஒளி ஆண்டுத் தொலைவில் சீராகப் பரவியுள்ள 10 பில்லியன் நட்சத்திர மண்டலங்களைக் ககணமுடிகிறது. அத் தொலைவுக்கு அப்பாலிருந்து வரக்கூடிய ஒளி அதனை உணர முடியாத அளவுக்கு பொலிவு குன்றியுள்ளது. 60,000 ஒளி ஆண்டுகள் விட்டங் கொண்ட நமது நட்சத்திர மண்டலத்தில் ஏறத்தாழ 100 பிலியன் நட்சத்திரங்கள் உள்ளன. அவற்றுள் ஒன்றே நமது சூரியன். நமக்கு மிக அருகிலுள்ள மற்ருெரு நட்சத்திர மண்டலம் ஆண்ட்ரொமெடா நட்சத்திரக் கொத்து (Andromeda Nebula) ஆகும். அதன் அளவும் அமைப்பும் நமது நட்சத்திர மண்டலத்தை ஒத்துள்ளன.



படம் 11-11

ஏறத்தாழ இரண்டு மில்லியன் ஒளி ஆண்டுகள் தொலைவில் ஆண்ட்ரொமெடாவில் உள்ள நட்சத்திரக் கொத்து நமக்கு மிக அருகிலுள்ள நட்சத்திர மணடலம். அது நமது பால் மண்டலத்தை ஒத்துள்ளது.
(நன்றி : கலி.:.போர்னியா துறை நுணுக்கக் கழகம்.

வெப்ப அணுக்கரு வினை (Thermo nuclear reaction) களைப் பற்றி அண்மையில் நாம் பெற்ற விரிவான அறிவின் பயனாய் சில நட்சத்திரங்களின் வயதை மதிப்பிட முடிகிறது ; நமது நட்சத்திர மண்டலத்தில் இன்னமும் நட்சத்திரங்கள் தோன்றிக்கொண்டே யிருப்பினும் (அவற்றுள் சில மில்லியன் ஆண்டுகள் வயதே கொண்டுள்ளன) அது சுமார் 20 பில்லியன் ஆண்டுகட்கு முன்பு தோன்றி யுள்ளது. ஈர்ப்பு விசையின் பயனாய் சிறு துகள்கள் ஒன்று சேர்ந்து நட்சத்திரங்களாக மாறுகின்றன.

எல்லா நட்சத்திர மண்டலங்களும் நம்மிடமிருந்து அவற்றின் தொலைவுகளுக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ள திசை வேகங்களுடன் நம்மை விட்டு விலகிச் செல்லுகின்றன என்பதே நாம் சோதனை மூலம் கண்டறிந்த உண்மைகளுள் ஒருவேளை மிகவும் குறிப்பிடத் தக்கதாக இருக்கலாம். அந்த விகித மாறிலியின் மதிப்பானது 5 பில்லியன் ஒளி ஆண்டுத் தொலைவில் சற்றே தெரியக்கூடிய நட்சத்திர மண்டலங்கள் ஒளி வேகத்தில் பாதி வேகத்துடன் நம்மை விட்டு விலகும் வகையில் உள்ளது. நட்சத்திர மண்டலங் கள் வெளிவிடும் ஒளியின் அலைநீளத்தின் பெயர்ச்சியிலிருந்து அவற்றின் பின்னடைவுத் திசைவேகத்தை (Velocity of recession) மதிப்பிடலாம். ஒளிமூலம் ஒன்று நம்மைவிட்டு விலகும்போது அதன் ஒளியின் அலைநீளம் அதிகமாகிறது (இது செந்நிறப் பெயர்ச்சி அல்லது டாப்ளர் பெயர்ச்சி எனப்படுகிறது).

காலத்துள் ஒருவர் பின்னோக்கி நோக்குவாரேயாயின் ஏறத் தாழ பத்து பில்லியன் ஆண்டுகளுக்கு முன்னர் அண்டத்திலுள்ள எல்லா நட்சத்திர மண்டலங்களும் வெளியிடத்தில் ஓரிடத்தில் திரளாக அமைந்திருந்தன என்ற முடிவுக்கு வரக்கூடும். உண்மை யில், புகழ்பெற்ற அண்டவியல் கொள்கைகளுள் ஒன்று பத்து பில் லியன் ஆண்டுகட்கு முன்னர் அண்டத்திலுள்ள எல்லாப் பொருட் களும் அணுக்கரு ஒன்றின் அடர்த்தியுடன் ஒரு திரளாக அமைந் திருந்தன எனக் கூறுகிறது. அவ்வாறாயின் கண்ணுக்குத் தெரியக் கூடிய எல்லா நட்சத்திர மண்டலங்களும் வியாழன் பாதையின் விட்டத்தைவிடக் குறைந்த விட்டத்தையுடைய கோளம் ஒன்றி னுள் அடங்கியிருக்கும். இத்தகைய 'புதிரான' படைப்புக்குப் பின்னர் சாதாரண பௌதிக விதிகளின் காரணமாக இந்த மூலக்கரு பெரிய வெடிப்புக்குள்ளாகி யிருக்கலாம். எனவே நம்மைவிட்டுப் பின்னடையும் நட்சத்திர மண்டலங்கள் வெடிக்கப் பட்ட கைக்குண்டின் துண்டுகளை ஒத்தவையாகும். விரிவடையும் அண்டத்திற்கான இந்த விளக்கம் பெருவெடிக் கொள்கை (Bing bang theory) என அழைக்கப்படுகிறது.

இதற்கிணையான மற்றொரு கொள்கை இயல் மாறாக் கொள்கை (Steady-state theory) ஆகும். அது சீர்மைத் தத்துவம் என்னும் பொதுக் கருத்தை (Generalised principle of uniformity) மேற்கொள்ளுகிறது. சீர்மைத் தத்துவத்தின்படி அண்டமானது அதனை எந்த இடத்திலிருந்து நோக்கினாலும் ஒரே மாதிரியாகத் தோன்ற வேண்டும். இக் கருத்து காட்சிப் பதிவிற்கேற்ப அமைந்துள்ளது. மாறாநிலைக் கொள்கை மேலும் கூறுவதாவது அண்டத்தின் அமைப்பானது காலத்தால் மாறாது; அதாவது கடந்த காலங்களில் அது ஒரே மாதிரியாகத் தோற்றமளித்தது; எதிர்காலங்களிலும் அதே மாதிரியாகத் தோற்றமளிக்கும். மாறாநிலைக் கொள்கையில் பருப்பொருளின் சராசரி அடர்த்தியானது அண்டத்தின் விரிவினால் குறையும் அதே வீதத்தில் தொடர்ந்து சீராக பருப்பொருள் படைப்பு நிகழ்கிறது என்ற கருத்தின்மூலம் மேற்கூறப்பட்ட சீர்மைத் தத்துவம் நிறைவெய்துகிறது. ஒவ்வொரு ஆண்டும் 10^{15} செ.மீ.^{3} அல்லது ஒரு கன கிலோமீட்டர் பருமனில் ஒரு நியூட்ரான் (அல்லது ஹைடிரஜன் அணு) இயல்பாகவே தோன்றுமாயின் பருப்பொருளின் சராசரி அடர்த்தி மாறாமலிருக்கும் அளவுக்கு அண்டத்தின் விரிவு வீதம் உள்ளது. நியூட்ரான்கள் இயல்பாகவே தோன்றுவதென்பது ஆற்றல் அழிவின்மை விதி, உந்தம் அழிவின்மை விதி, கனத்துகள்கள் அழிவின்மை விதி ஆகியவற்றிற்கு முரண்படுகிறது என மறுத்துக் கூறலாம். ஆனால் இந்த முரண்பாட்டை ஒரு முரண்பாடாகவே கருதுவதற்கிடமில்லை. மற்ற அழிவின்மை விதிகளும் மென்செயலெதிர்ச் செயல்களால் (Weak interactions) மீறப்படுகின்றன என்பதை 16ஆம் இயலில் காணலாம்.

மாறாநிலைக் கொள்கையின் நற்பயன் என்னவெனில் அது காட்சிப் பதிவின்மூலம் சரிபார்க்கப்படக்கூடிய 'துணிகர'க் கருத்துக்களைக் கூறுகிறது. காட்டாக, அவற்றுள் ஒன்று அண்மையிலுள்ள நட்சத்திர மண்டலங்களுக்கு மட்டுமின்றி தொலைதூர நட்சத்திர மண்டலங்களுக்கும் வயதுப் பங்கீடு (Age distribution) சீராக இருக்கவேண்டுமென்பதாகும். மற்றொன்று சாதாரண நட்சத்திரங்களில் நிகழும் வெப்ப அணுக்கருவினைகள் ஹைடிரஜனிலிருந்து யுரேனியம் போன்ற எடை மிக்க தனிமங்களை உருவாக்கும் ஆற்றலுடையவையாய் இருக்கவேண்டும் என்பதாகும். இதுவரை இக்கருத்துக்கள் பல சோதனைகளில் வெற்றி பெற்றுள்ளன. அடுத்த சில ஆண்டுகளில் மேலும் பல கருத்துக்கள் சரிபார்க்கப்படலாம் என நாம் எதிர்பார்க்கலாம். மாறாநிலைக் கொள்கை எல்லாச் சோதனைகளிலும் வெற்றிபெறுமாயின் அடுத்த பத்து அல்லது பன்னிரெண்டு ஆண்டுகளில் ஒரு வேளை

அதற்குப் பரந்த வரவேற்பு இருக்குமென எதிர்பார்க்கலாம். மாருக, அதுவோ அல்லது வேறெந்தக் கொள்கையோ ஒரு சோதனையிலாவது ஐயமறத் தோல்வியுறுமாயின் அதுவே அதன் முடிவுக்கு வழிவகுக்கும்.

கணக்குகள்

1. ஒரு பொருள் v என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்கும் பொழுது அதன் அடர்த்தி எத்தனை மடங்கு அதிகமாகும்? (இயக்கத் திசைக்கு நேர்குத்துத் தொலைவுகள் குறுக்கப் படுவதில்லை).

2. சூரியனுக்கு அருகில் ஒளி வளைவதின் பயனாய் நட்சத் திரங்கள் சூரியனைவிட்டு விலகுவதுபோல் தோன்றுகிறதா அல்லது சூரியனை நோக்கி நகருவதுபோல் தோன்றுகிறதா?

3. மலையுச்சியிலுள்ள ஒரு கடிகாரம் மலையடிவாரத்திலுள்ள அதையொத்த மற்றொரு கடிகாரத்தைவிட மெதுவாக இயங்குமா வேகமாக இயங்குமா ?

4. 100 வாட் மின் விளக்கு ஒன்று ஒரு ஆண்டில் எத்தனை மைக்ரோ கிராம்களை வெளிவிடும் ?

5. ஒரு பொருளின் திசைவேகமானது அதன் நிறை 10% அதிகமாகும் அளவுக்கு உள்ளது

(a) அதன் இயக்கத் திசையில் அதன் நீளம் எவ்வளவு குறையும் ?

(b) அதன் ஓய்வு ஆற்றல் W_0 எனில் அதன் இயக்க ஆற்றல் என்ன ?

6. ஒரு புரோட்டானின் ஓய்வு ஆற்றல் 938 Mev. அது ஒளி வேகத்தின் பாதியளவு திசை வேகத்துடன் இயங்குகிறது.

(a) முதுவிசையியலின்படி அதன் இயக்க ஆற்றல் எத்தனை Mev-க்கள் ?

(b) சார்பியல் விசையியல்படி அதன் இயக்க ஆற்றல் எத்தனை Mev-க்கள்

7. புவியில் சூரியனிலிருந்துவரும் ஆற்றல் பாய்மம் (Energy flux) 2 கேலரிகள் செ.மீ.^{2}/நிமிடம். ஒவ்வொரு ஆண்டும் சூரியனி லிருந்து எத்தனை கிராம்கள் புவியை வந்தடைகின்றன. புவியின் எடை அதிகமாகிறது என்று கூறுவாயா ?

8. புவிப்பரப்பிலிருந்து 100 மைல் உயரத்தில் ஒரு துணைக் கோள் இயங்குகிறது. அத்துணைக் கோளில் உள்ள ஒரு கடிகாரம் அதே உயரத்தில் நிலையாக உள்ள ஒரு கடிகாரத்தைவிட மெது வாக இயங்குமா அல்லது வேகமாக இயங்குமா ?

9. 20 கிலோ டன் அணுகுண்டு ஒன்றை அமைக்கத் தேவை யான வெடிப்புறு பொருளின் நிறை என்ன ?

10. ஒரு பயானின் இயக்க ஆற்றல் 35 Mev. அதன் அரை வாழ்வு எவ்வளவு அதிகமாகும்? பயானின் ஓய்வு ஆற்றல் 140 Mev.

11. உந்தத்திற்கான சார்பியல் வாய்பாடு $P = Mv$. சமன் 11-9-ஐப் பயன்படுத்தி $c^2P^2 = W^2 - (M_0c^2)^2$ என நிறுவுக.

12. மைக்கல்ஸன்-மார்லிச் சோதனையில் ஒரு முழுவரிப் பெயர்ச்சி (Complete fringe shift) 4×10^{-5} செ.மீ. பாதை வேறுபாட்டைக் குறிக்கிறது. ஈதர் திசைவேகம் 18 மைல்/வி எனில் 10 மீட்டர் நீளப்புயங்களையுடைய குறுக்கீட்டு மானி ஒன்றை $90°$ சுழற்றும்பொழுது எவ்வளவு வரிப்பெயர்ச்சி காணப்படும் ?

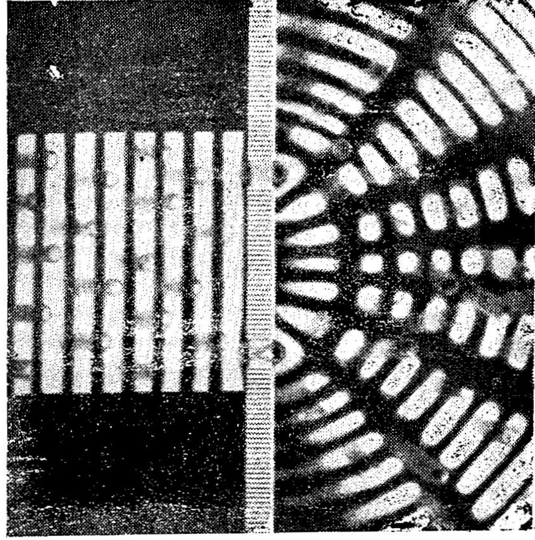
13. ஓய்வுநிறை M_0-ம் திசைவேகம் v-யும் கொண்ட ஒரு துகளுக்கு பின்வருவனவற்றுள் எது அதிகம் : $\frac{1}{2}M_0v^2$, $\frac{1}{2}Mv^2$, அதன் இயக்க ஆற்றல்?

14. விண்வெளிக் கப்பல் ஒன்றுக்கு ஓராண்டுக் காலம் வரை இடையறுமல், (அதன் பயணிகளால் அளவிடப்படும்) $2g$ என்ற முடுக்கத்தைக் கொடுக்கக்கூடிய ஒரு ராக்கெட்டை அமைக்க முடியு மெனக் கருதுவோம். $v = at$ என்ற முதுவாய்பாட்டிற்குரிய சார்பியல் வாய்பாடு

$$v = \frac{at}{\sqrt{1 + \frac{a^2t^2}{c^2}}}$$

ஆகும். ஆண்டு முடிவில் பயணிகள் எத்தனை மடங்கு கால நீட்டிப்பை மதிப்பிடுவார்கள்.

15. இந்த அண்டமானது R என்ற ஆரமும் 10^{-29} கி./செ.மீ.^{3} சராசரி அடர்த்தியும் கொண்ட ஒரு கோளமாகக் கருதுக. இந்தக் கோளத்திலிருந்து விடுபடு வேகம் எவ்வளவு? (இதற்குரிய விடையானது R தொலைவில் உள்ள நட்சத்திர மண்ட லங்களின் பின்னடைவுத் திசைவேகத்திற்கு ஏறத்தாழ சமமா யிருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது).



குவாண்டம் கொள்கை
(Quantum Theory)

இயல் 12

குவாண்டம் கொள்கை

12-1 முது பௌதிகத்தின் தொகுப்புரை

இன்றைய புதுமை நாளைய பழைமை

இதுவரை $h = 6.62 \times 10^{-27}$ எர்க்-விநாடி என்ற அடிப்படை மாறிலி (ப்ளாங்க் மாறிலி) இந்நூலின் எப்பகுதியிலும் இடம் பெறவில்லை. உண்மையில் அம் மாறிலி ஏறத்தாழ பௌதிகத்தின் எல்லாப் பகுதியிலும் இடம்பெறுகிறது. இதுவரை இந்நூலில் 1900-வது ஆண்டுக்கு முன்பிருந்த பௌதிகத்தைப் பற்றிக் கூறப் பட்டது; மேற்கூறப்பட்ட மாறிலியை 1900-க்குப் பிறகே ப்ளாங்க் அதனைக் கண்டுபிடித்தார். இவ்விரு காரணங்களுக் காகவே இதுவரை ப்ளாங்க் மாறிலியைப் பயன்படுத்தாமல் மிக்க திறமையுடன் தவிர்க்க முயன்றோம். 1900-க்கு முன்பிருந்த பௌதிகம் முது பௌதிகம் என அழைக்கப்படுகிறது.

குவாண்டம் கொள்கையின் முற்றிலும் புதிய கருத்துக்களை அறிமுகப்படுத்துமுன் முது பௌதிகத்தின் சிறப்புக்களையும் அதில் இருக்கக்கூடிய குறைபாடுகளையும் சற்று நோக்குவோம். நியூட்டன் விதிகளின் உதவியால் விழும் பொருட்கள், எறிபொருட்கள், துணைக் கோள்கள், சூரிய மண்டலம் மற்றும் கண்ணுறு இயக்கம் ஆகியவற்றிற்கு விளக்கம் தந்தோம். மேலும், நியூட்டன் விசை யியல் ஆற்றல் அழிவின்மை, உந்த அழிவின்மை, கோண உந்த அழிவின்மை ஆகிய விதிகளையும் அளித்தது.

19ஆம் நூற்றாண்டின் வேதியியலிலிருந்து பருப்பொரு ளானது மூலக்கூறுகளாலும் அணுக்களாலும் ஆனது என அறியப் பட்டது. இந்த அறிவு நியூட்டன் விதிகளுடன் இணைந்து வெப்பம் என்ற பெரும்புதிருக்கு விளக்கம் தந்தது. அந்த விளக்கம் வெப் பத்தின் இயக்கக் கொள்கை எனப்படுகிறது.

'விசித்திரமான' மின்சார மற்றும் காந்த நிகழ்ச்சிகள் மின்

னூட்டம் என்ற கருத்தினுலும் மின்சார விதிகளின் உதவியாலும் விளக்கப்பட்டன. நூருண்டுகட்கு முன்னர் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மின்சார விதிகள் இயங்கும் மின்னேட்டங்கள், நிலேயான மின்னேட்டங்கள் ஆகியவற்றின் ‘விசித்திரமான’ செயலெதிர்ச் செயல்களே விவரிக்கின்றன. இந்த மின்சார விதிகளே மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகள் என நாம் அழைக்கிருேம். ஏறத்தாழ 1870ஆம் ஆண்டில் மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளின் கணிதவியல் விளேவாக ஒளிக்கொள்கையை மாக்ஸ்வெல் பெற்ருர். இது முதுபௌதிகத்தில் தலேசிறந்த சாதனேயாகும். ஆனுல் அக்கொள்கை ஈதரைப் பற்றிய சிக்கலுக்கும் மைக்கல்ஸன்-மார்லிச் சோதனேயில் ஈதரின் விளேவுகள் ஏன் வெளிப்படவில்லே என்ற பிரசினேக்கும் இட்டுச் சென்றது. 1905-ல் ஐன்ஸ்டீன் வெளியிடம், காலம் ஆகியவற்றிற்கான நமது அடிப்படைக் கருத்துக்களே மாற்றியமைத்து மேற்கூறப்பட்ட பிரசினேகளுக்கு விளக்கம் தந்தார். முதல் நோக்கில் சார்பியல் கொள்கை அதிர்ச்சியூட்டுவதாகவும் ‘பொது உணர்வு’க்கு முரண்படுவதாகவும் தோன்றலாம். எனினும் குவாண்டம் கொள்கையின் அலேத்-துகள் இருமை (Wave-particle dualility) யை நோக்கும்பொழுது மிகவும் அதிர்ச்சியாக இருக்கும்.

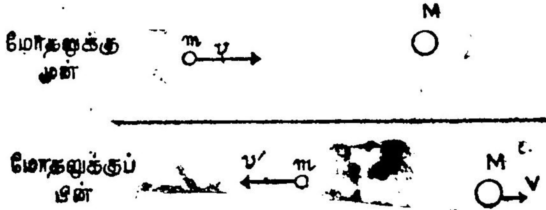
1890-ல் எலெக்ட்ரானும் ஒளிமின் விளேவும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அதனேப்பற்றி அடுத்த பிரிவில் காண்போம். 1910-ல் E. ருதர்ஃபோர்டு (E. Rutherford) என்பவர் ஒரு அணுவின் நேர் மின்னூட்டம் முழுவதும் ஒரு சிறிய கனமான அணுக் கருவினுள் செறிந்திருக்கவேண்டும் எனக் கண்டறிந்தார். மெல்லிய உலோகத் தாள்களே ஆல்ஃபாத் துகள்களால் (ஹீலியம் அணுக்கருக்கள்) தாக்குவதன் மூலம் அவர் கருத்துக்கான திட்டவட்டமான செயல் விளக்கமும் தந்தார். அத்தகைய தாக்குதலின் பயனுய் குறிப்பிடத்தக்க எண்ணிக்கையுள்ள ஆல்ஃபாத் துகள்கள் (α-துகள்கள்) மிகக் குறைந்த ஆற்றல் இழப்புடன் திரும்பிவந்தன. இவ்வாறு சிதறடிக்கப்படும் α-துகள்களின் எண்ணிக்கையிலிருந்து சிதறு மையங்களின் (Scattering centres - அணுக்கருக்கள்) மின்னூட்டமானது தாக்கப்படும் தனிமத்தின் அணு எண், எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டம் e ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனுக்குச் சமம் என மதிப்பிடப்பட்டது. சிதறடிக்கப்பட்ட α-துகள்களின் ஆற்றலிலிருந்து ஏறத்தாழ இலக்கின் நிறை முழுவதும் இலக்கு அணுக்கருக்களில் செறிந்திருப்பதாகவும் மதிப்பிடப்பட்டது.

மாதிரிக் கணக்கு

5 Mev α-துகள்கள் தாமிர அணுக்கருக்களுடன் நேரடி மோத

லுக்கு உள்ளாகும்பொழுது 3.9 Mev ஆற்றலுடன் திரும்பிவந்தன என ருதர்ஃபோர்டு கண்டார். தாமிர அணுக்கருவின் நிறைக்கும் α-துகளின் நிறைக்கும் உள்ள விகிதத்தைக் கணக்கிடுக.

α-துகள், தாமிர அணுக்கரு ஆகியவற்றின் நிறைகள் முறையே m, M எனக் கொள்வோம். m-ன் தொடக்க, இறுதித் திசைவேகங்கள் முறையே v, v' எனவும் M-ன் இறுதித் திசை



படம் 12-1

M நிறையுடைய அணுக்கருவுடன் α-துகளின் (நிறை m) நேரடி மோதல்.

வேகம் V எனவும் கொள்வோம் (படம் 12-1). ஆற்றல் அழி வின்மை விதிகளைப் பயன்படுத்தி இந்த ராசிகளில் இரு ஒருங் கமைச் சமன்பாடுகளைப் பெறலாம். ஆற்றல் அழிவின்மை விதி யின்படி தாமிர அணுக்கருவுக்குக் கொடுக்கப்பட்ட ஆற்றல்

$$\tfrac{1}{2}MV^2 = \tfrac{1}{2}mv^2 - \tfrac{1}{2}mv'^2$$

அல்லது $$V^2 = \frac{m}{M}(v^2 - v'^2) \qquad (12\text{-}1)$$

v'-ம் V-ம் எதிர்த்திசைகளில் இருப்பதால் இறுதி உந்தம் $MV - mv'$ ஆகும். உந்த அழிவின்மை விதிப்படி இந்த இறுதி உந்தம் தொடக்க உந்தம் mv க்குச் சமமாகும். அதாவது

$$MV - mv' = mv$$

அல்லது $$V = \frac{m}{M}(v + v') \qquad (12\text{-}2)$$

இச் சமன்பாட்டின் இருமடியையச் சமன் 12·1-ல் பதிலீடு செய்வோ மாயின்

$$\left(\frac{m}{M}\right)^2 (v + v')^2 = \frac{m}{M}(v + v')(v - v')$$

அல்லது $$\frac{m}{M} = \frac{v - v'}{v + v'}$$

$$\frac{m}{M} = \frac{1 - \frac{v'}{v}}{1 + \frac{v'}{v}}$$

v'/v என்பது இறுதி, தொடக்க இயக்க ஆற்றல்களின் விகிதத்தின் இருமடி மூலமாதலால்

$$\frac{v'}{v} = \sqrt{\frac{3.9 \text{ Mev}}{5 \text{ Mev}}} = 0.882$$

எனவே $$\frac{m}{M} = \frac{1 - 0.882}{1.882} = 0.0625$$

அல்லது $$M = 16\text{m}$$

எனவே தாமிர அணுக்கருவின் நிறையானது α-துகள் அல்லது ஹீலியம் அணுக்கருவின் நிறையைப்போல் 16 மடங்கு இருக்க வேண்டும். இந்த விடை தாமிரம் ஹீலியம் ஆகியவற்றின் அணு நிறைகளுடன் ஒத்திருக்கிறது. தாமிரத்தின் அணு நிறை 64. ஹீலியத்தின் அணு நிறை 4.

பௌதிகர்களால் மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகள், ருதர்ஃபோர்டின் சோதனை முடிவுகள் ஆகிய இரண்டிற்கும் ஏற்ற வகையிலான நிலையான அணு அமைப்பை அமைக்க முடியவில்லை. அணுவின் பெரிய அளவானது நேர்மின் அணுக்கருவைச்சுற்றி எலெக்ட்ரான்கள் வலம் வருவதால் ஏற்படலாம் என அவர்கள் ஊகித்தார்கள். அவ்வாறாயின் அந்த எலெக்ட்ரான்கள் மையநோக்கு முடுக்கம் பெற்றிருக்கவேண்டும். ஆனால் மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளின்படி முடுக்கம் பெற்றிருக்கும் எந்த மின்னூட்டமும் ஆற்றலை வெளிவிட வேண்டும். இது உண்மையாயின் அந்த எலெக்ட்ரான்கள் தொடர்ந்து ஆற்றலை இழந்து அணுக்கருவினுள் விழுந்து விரைவில் அழிந்துவிடும். மற்றொரு இடர்பாடு என்னவெனில் முதுகொள்கையின்படி அணுவியல் கதிர்வீச்சு ஒரு தொடர் நிறமாலையை விளைவிக்க வேண்டும். எனினும் கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட அணுக்கள் குறிப்பிட்ட சில அடுக்கங்களை மட்டுமே வெளிவிடுகின்றன எனச் சோதனைமூலம் அறியப்பட்டது. (அவை வரி நிறமாலை-linespectrum-களை விளைவித்தன). இறுதியாக, ஒரு தனிமத்தின் எல்லா அணுக்களும் சுற்றும் மாறுபடாமல் ஒரேமாதிரியாக ஏன் இருக்க வேண்டும்? ஒரு கார்பன் அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் மற்றெந்த கார்பன் அணுவிலுமுள்ள எலெக்ட்ரான்களைப்போல் அதே பாதைகளில் ஏன் இயங்கவேண்டும்? சூரிய மண்டலத்

திலுள்ள கிரகங்களைப் பொறுத்தவரை இது உண்மையல்ல என்பது உறுதி. அதாவது, நமது சூரிய மண்டலத்திலுள்ள கிரகங்களோடு மற்றொரு சூரிய மண்டலத்திலுள்ள கிரகங்களை ஒப்புநோக்கும் பொழுது அவற்றின் பாதைகள் ஒத்திருப்பதில்லை.

சுருங்கக் கூறின் பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில் முதுபௌதிகத்தால் விளக்கங் கூறமுடியாத சில நிகழ்ச்சிகளைப் பின்வருமாறு வரிசைப்படுத்தலாம் :

1. வாயுக்கள் மற்றும் திடப்பொருட்களின் வெப்ப எண்கள். வெப்ப எண் வெப்பநிலையின் சார்பலனாயிருப்பது. (பிரிவு 6.8-ன் படி வெப்ப எண்களின் மதிப்பு இயக்கக் கொள்கைக் கூறும் மதிப்பைவிடக் குறைவாக உள்ளன).

2. ஒளிமின் விளைவு.

3. நிலையான அணு அமைப்பு.

4. அணுக்கதிர்வீச்சும் உட்கவர்தலும், வரிநிறமாலைகள்.

5. ஒரே தனிமத்தின் எல்லா அணுக்களும் முற்றிலும் ஒத்திருத்தல்.

6. சூடேற்றப்பட்ட பொருள் ஒன்று வெளிவிட்ட கதிர் வீச்சின் அடுக்க நிறமாலை (frequency spectrum) (இந்நிகழ்ச்சி கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு - Black body radiation - என அழைக்கப்படுகிறது).

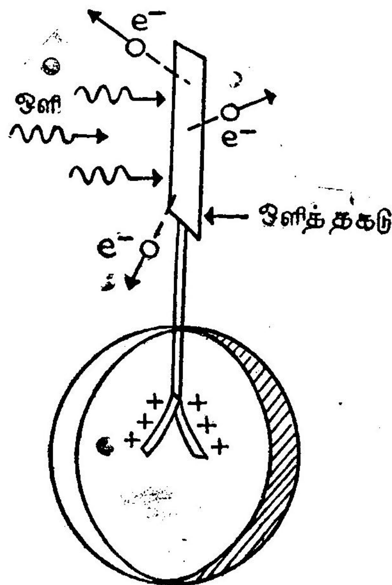
7. கதிரியக்கம்.

12-2 ஒளிமின் விளைவு (Photo electric effect)

மூற்றிலும் அல்லது ஏதுமின்மை

எலெக்ட்ரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சில நாட்களில் சில குறிப்பிட்ட உலோகத் தகடுகள் ஒளியூட்டப்படும்பொழுது எதிர் மின்னூட்டம் அல்லது எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படுவதைப் பௌதிகர்கள் கண்டார்கள். இந் நிழ்ச்சி ஒளி மின் விளைவு எனப்படுகிறது. இவ்விளைவு எவ்வாறு கண்டறியப்பட்டது என்பதைப் படம் 12-2 விளக்குகிறது. மின்னூட்டமற்ற மின் காட்டி ஒன்றில் ஒரு உலோகத் தகடு பொருத்தப்பட்டது. உலோகத் தகடு ஒளியூட்டப்படும்பொழுது மட்டுமே எதிர் மின்னூட்டம் வெளிப்பட்டு மின் காட்டியை நேர் மின்னூட்டம் பெறச் செய்கின்றன என்பது

காணப்பட்டது. கதவு திறப்பான்கள், திருட்டு அறிவிப்பு மணி, TV கேமராக்கள், ஒளியூட்டு நேரமானி (Exposure meter) ஆகியவை இவ்விளைவின் நவீன பயன்களாகும்.



படம் 12-2

உலோகத் தகடு ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட்ட மின்னூட்டமற்ற மின் காட்டித் தகடு ஒளியூட்டப்படும்பொழுது ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் (Photo electrons) வெளிப்படுவதால் இலைகள் நேர் மின்னூட்டம் பெறுகின்றன.

ஒளியைப் பற்றிய முது கொள்கையின்படி ஒளி என்பது எலெக்ட்ரானை அலைவுறச் செய்யக்கூடிய ஒரு அலைவுறு மின்புலமே யாகும். அவ்வாறுயின் ஒளியானது உலோகத் தகட்டை விட்டு சில எலெக்ட்ரான்களைக் காற்றில் உதறித் தள்ளலாம் என நாம் எதிர்பார்க்கக்கூடும். ஒளியின் செறிவுக்கேற்ப மின்புல வலிமை அதிகமாவதால் அதற்கேற்ப வெளிப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் பெரும ஆற்றலும் அதிகமாகும் எனவும் நாம் எதிர்பார்க்கலாம். ஒளியின் செறிவை மாற்றுமல் அடுக்கத்தை அதிகமாக்குவோமாயின் போதுமான அளவு உயர்ந்த அடுக்கங்களில் குறைந்த ஆற்றல் எலெக்ட்ரான்களை நாம் எதிர்பார்க்கக்கூடும். ஏனெனில் எலெக்ட்ரானுனது அதன் நிலைமம் அல்லது நிறையின் பயனுக உயர்ந்த அடுக்கங்களைப் பொறுத்தவரை மந்தமாக இருக்கும். இவ்வாறுக முது பௌதிகத்தின்படி (1) எலெக்ட்ரான் ஆற்றல் ஒளிச்செறிவுக்கேற்ப அதிகமாகிறது, (2) அடுக்கம் அதிகமாகும்

பொழுது எலெக்ட்ரான் ஆற்றல் குறைகிறது. ஆனால் 1900-வது ஆண்டளவில் செய்யப்பட்ட சோதனைகள் (1) செறிவுக்கேற்ப எலெக்ட்ரான் ஆற்றல் அதிகமாவதில்லை, (2) அடுக்கத்திற்கேற்ப எலெக்ட்ரான் ஆற்றல் அதிகமாகிறது எனச் சுட்டிக் காட்டின ! ஒளிச் செறிவை அதிகமாக்குவதால் ஒரு வினாடியில் வெளிவிடப் படும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மட்டுமே அதிகமாயிற்று.

1905ஆம் ஆண்டளவில் ஒளி மின் விளைவுக்கு விளக்கம் கூறுவதில் ஐன்ஸ்டீன் வெற்றிபெற்றார். அவர் விளக்கமானது : மாக்ஸ் பிளாங்க்கின் (Max planck) முந்தைய (1900) புனைவு கோளுக்கு (Hypothesis) மேலும் கூடுதலான பௌதிகவியல் பொருளையும் அளித்தது. சூடான திடப்பொருள்கள் வெளிவிடும் நிறமாலையில் கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு அமைப்பைக் கணிதவிய லாக விளக்கும் பொருட்டு ஒளியானது அதன் ஆற்றலை வரையறுக் கப்பட்ட அளவுகளில் அல்லது குவாண்டம்களில் (Quanta) ஏந்திச் செல்லுகிறது என பிளாங்க் கருத்துரை செய்தார். ஒளி அலையின் ஆற்றல் முழு எண்ணிக்கைக் குவாண்டம்களாக இருக்கவேண்டும் என பிளாங்க் கருதினார். ஒவ்வொரு குவாண்டத்திலுமுள்ள ஆற்றலானது (W) ஒரு புதிய பௌதிக மாறிலி h, ஒளி அலையின் அடுக்கம் f ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனாகும். அதாவது,

ஒரு ஃபோட்டானின் ஆற்றல்

$$W = hf \qquad (12\text{-}3)$$

$h = 6.62 \times 10^{-27}$ எர்க்-வி என்பது பிளாங்க் மாறிலி எனப் படும், W என்பது ஒரு குவாண்டத்தின் ஆற்றல். இந்த ஒளித் துகள்கள் ஃபோட்டான்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. பிளாங்க் மாறிலியின் மதிப்பைத் தற்போது உள்ள மதிப்பினின்றும் 1% மட்டுமே வேறுபடுமளவிற்குத் துல்லியமாக பிளாங்க்கினால் மதிப்பிட முடிந்தது.

மாதிரிக் கணக்கு

ஒரு ஃபோட்டானின் ஆற்றல் $W = hf$ எலெக்ட்ரான்வோல்ட் டுகள் எனின் அதன் அலை நீளத்தை ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகுகளில் தரக் கூடிய ஒரு வாய்பாடு நமக்கு மிகவும் பயன் தரத்தக்கதாயிருக்கும். அத்தகைய வாய்பாட்டைப் பின்வருமாறு பெறலாம் :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{hc}{hf} = \frac{6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{hf \text{ எர்குகளில்}}$$

$$= \frac{19.86 \times 10^{-17}}{1.6 \times 10^{-12} (\text{ev அலகில்})}$$

$$\lambda = \frac{12.39 \times 10^{-5}}{hf\ (\text{ev அலகில்})}\ \text{செ.மீ.}$$

$$\lambda = \frac{12.39 \times 10^{3}}{hf\ (\text{ev அலகில்})}\ \text{A}$$

நினைவிலிருத்தற்கேற்ற இதைவிட எளிய வடிவம்

$$\lambda(\text{A அலகில்}) = \frac{12,345}{hf(\text{ev அலகில்})}$$

$$\text{அல்லது } hf(\text{ev அலகில்}) = \frac{12,345}{\lambda(\text{A அலகில்})} \qquad (12\text{-}4)$$

ஆகும். இங்கு நாம் வாய்பாட்டை நினைவிலிருத்த எளிதாக்கும் நோக்கத்துடனேயே மதிப்புடை இலக்கங்களை (Significant figures)ப் பற்றிய மரபை மீறியுள்ளோம். 12,345 என்ற எண்ணில் கடைசி இரு இலக்கங்கள் மதிப்புடையவை அல்ல. **எச்சரிக்கை :** இந்த வாய்பாடு ஓய்வு நிறை சுழியில்லாத எலெக்ட்ரான்களுக்கோ மற்ற துகள்களுக்கோ பொருந்தாது. நினைவாற்றலின் உதவியால் மட்டும் பௌதிகத்தைக் கற்க முயலுவதிலுள்ள ஒரு ஆபத்து என்னவெனில் சமன்பாடுகள் எங்கிருந்து பெறப்படுகின்றன ; அவை எந்தெந்த நிகழ்ச்சிகளுக்குப் பொருந்தும் என்பதை மறந்து விடுவதேயாகும்.

ஒளிமின் விளைவில் முதல் நிலையாக ஒரு முழு ஃபோட்டான் ஒரு எலெக்ட்ரானால் முற்றிலும் உட்கவரப்படுகிறது என ஐன்ஸ்டீன் எடுத்துரைத்தார். அடுத்து திடீரென இரு துகள்களுக்கிடையேயான மோதலைப் போன்றதொரு செயலெதிர்ச் செயல் நிகழ்கிறது. இப்பொழுது உலோகத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான் hf அளவு அதிகமான ஆற்றலைப் பெறுகிறது. உண்மையில் இந்தத் துணிகரக் கருத்து ஒளியானது மெய்யாகவே துகள்களால் ஆனது என்பதை உணர்த்துகிறது. ஒளித் துகள்கள் அல்லது ஃபோட்டான்கள் முழுமையாக உட்கவரப்படுமே யொழிய ஒரு போதும் ஃபோட்டானின் ஒரு பகுதி மட்டும் உட்கவரப்படுவதில்லை. ஐன்ஸ்டீனின் இக் கொள்கையானது எலெக்ட்ரான் ஆற்றலானது அடுக்கத்திற்கேற்ப அதிகமாக வேண்டும் எனவும் அதற்கும் ஒளிச் செறிவுக்கும் எவ்விதத் தொடர்பும் இல்லை என்றும் கூறுகிறது. உலோகப் பரப்பு ஒன்றிலிருந்து ஒரு எலெக்ட்ரானை வெளியேற்றுவதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. அந்த ஆற்றலை "வெளியேற்று ஆற்றல்" (Work function) W என அழைப்போம். தூய்மையான சீசியத்திற்கு இந்த வெளியேற்று ஆற்றலின் மதிப்பு 1.8 ev ஆகும் ; தாமிரத்திற்கு 4.3 ev ஆகும்.

அடுத்து, ஆற்றல் அழிவின்மை விதியின்படி உலோகப் பரப்பை விட்டு வெளியேறிய பின் ஒரு எலெக்ட்ரான் பெறக்கூடிய பெரும இயக்க ஆற்றல்

$$KE_{\text{பெருமம்}} = hf - W \qquad (12\text{-}5)$$

ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு

சீசியத்திலிருந்து வெளியேற்றப்பட்ட ஒரு ஒளி எலெக்ட்ரான் 2 ev இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. அதனை வெளியேற்றக்கூடிய ஒளியின் பெரும அலை நீளம் என்ன ?

$$hf = KE + W$$

$$hf = 2 \text{ ev} + 1.8 \text{ ev} = 3.8 \text{ ev}$$

சமன் 12-4-ன்படி

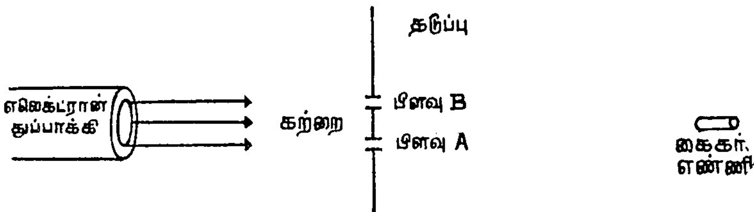
$$\lambda = \frac{12{,}345}{3.8} \text{ A}$$

$$\lambda = 3240 \text{ A}$$

12-3 அலை-துகள் இருமை

துகள் அலையாகும் ; துகளுமாகும்

ஒளியானது இதுவரை நாமறிந்த அலைப் பண்போடு துகள் பண்பையும் பெற்றிருக்க வேண்டுமென ஒளிமின் விளைவு போன்ற நிகழ்ச்சிகள் சுட்டிக் காட்டுகின்றன. இந்த அலை-துகள் தொடர்பு அல்லது இருமையானது எல்லாத் துகள்களுக்கும் அலைகளுக்கும் பொருந்துவதோடு நவீன குவாண்டம் கொள்கையின் அடிப்படைத் தத்துவமாகவும் அமைகிறது என இப்பொழுது தெரிய வந்துள்ளது. மேலெழுந்த வாரியாக நோக்கும்பொழுது ஃபோட்டான்களைப் போன்று பொருட்துகள்களும் அலைப்பண்புடையனவாக இருக்குமா என ஐயுறத் தோன்றும். ஒரு துகளுடன் இணைந்த அலை

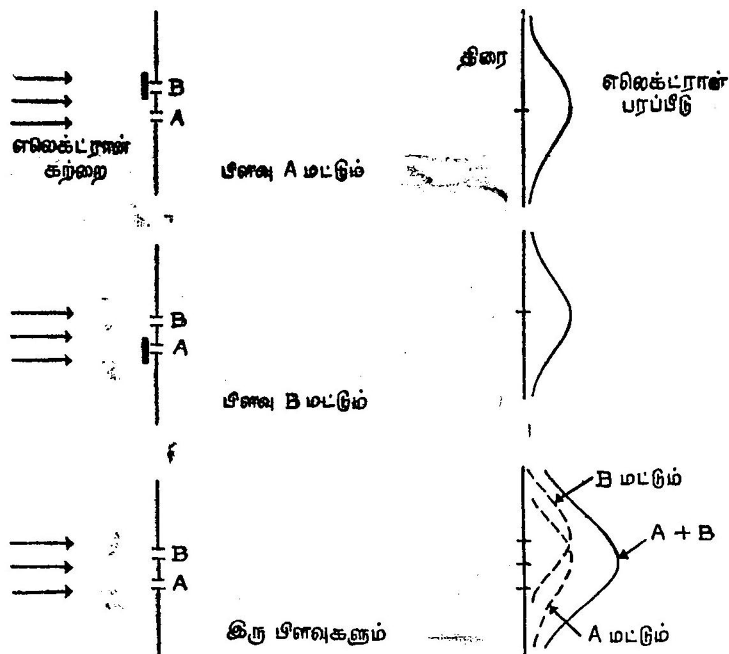


படம் 12-3

எலெக்ட்ரான்களின் அலைப்பண்புகளை விளக்கும் இலக்கியல் சோதனை.

என்றால் என்ன என்பதை விளக்குமுன் படம் 12-3-ல் காட்டப் பட்டுள்ள இலக்கியல் (idealised) சோதனையைக் கருதுவோம்.

ஒரு எலெக்ட்ரான துப்பாக்கி *A*, *B* என்ற இரு பிளவுகளுள்ள ஒரு தடுப்பை நோக்கி எலெக்ட்ரான் கற்றை ஒன்றைச் செலுத்து கிறது. மறுபுறத்தில் அதனை அடையும் ஒவ்வொரு தனி எலெக்ட்ரானையும் கணிக்கவல்ல கைகர் எண்ணி (Geiger Counter) ஒன்று உள்ளது. (பிளவு *B* மூடப்பட்டிருக்கும்பொழுது) *A* வழியே நிமிடத்திற்கு 100 எலெக்ட்ரான்கள் வருவதாகக் கணக்கிடுவ தாகக் கொள்வோம். *B* வழியே ஒரு நிமிடத்திற்கு வரக்கூடிய எலெக்ட்ரான்களும் 100 ஆகும். முதலில் பிளவு *A*-ஐ மட்டும் திறந்து பின்னர் *B*-ஐச் சிறிது சிறிதாகத் திறப்போமாயின் (பொது உணர்வின்படியும் இதுவரை நாம் பெற்ற அறிவின்படியும் எண்ணியின் கணிப்பு வீதமானது (counting rate) நிமிடத்திற்கு 100-லிருந்து சிறிது சிறிதாக 200-க்கு அதிகமாகும் என நாம் எதிர் பார்க்கக்கூடும், எனினும் சோதனையின்படி எண்ணியின் நிலைக் கேற்ப கணிப்பு வீதம் நிமிடத்திற்கு 100-லிருந்து சிறிது சிறிதாகக்

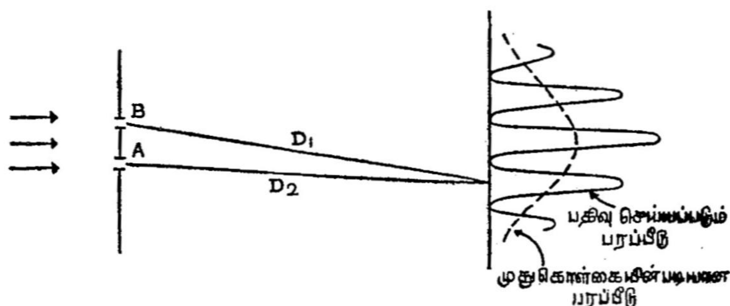


படம் 12-4

முது பௌதிகத்தின்படியான எலெக்ட்ரான் பரப்பீடு.

குறைகிறது! பிளவு B-ஐத் திறப்பதனுல் A வழியே செல்லக்கூடிய எலெக்ட்ரான்கள் எவ்வகையில் பாதிக்கப்படக்கூடும்? பிளவு B-ஐத் திறக்கும்பொழுது கணிப்பு வீதமானது நிமிடத்திற்கு 100-லிருந்து 400-க்கு அதிகமாகக்கூடிய, எண்ணிக்கான ஒரு நிலையையும் காணலாம். இது பொது அறிவுக்கு முரண்பட்ட மற்ருெரு நிகழ்வாகும். அந்நிலையில் இரு பிளவுகளின் வழியே வரக்கூடிய எலெக்ட்ரான்களின் கூட்டுத் தொகையைப்போல் இருமடங்கு எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கும்.

படம் 12-4 முது கொள்கையின்படி நாம் எதிர்பார்க்கக்கூடிய எலெக்ட்ரான் பரப்பீட்டையும் (Electron distribution) படம் 12-5 சோதனை மூலம் உண்மையில் பெறக்கூடிய எலெக்ட்ரான் பரப்பீட்டையும் காட்டுகின்றன. சோதனையில் பெறப்படும் எலெட்க்ரான் செறிவுப் பாங்கம் ஒளி அலைகளின் இரட்டைப் பிளவு குறிக்கீட்டுப் பாங்கத்தைப் பெரிதும் ஒத்திருப்பது குறிப்பிடத்

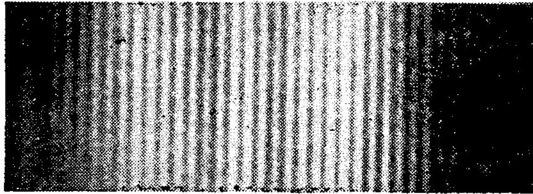


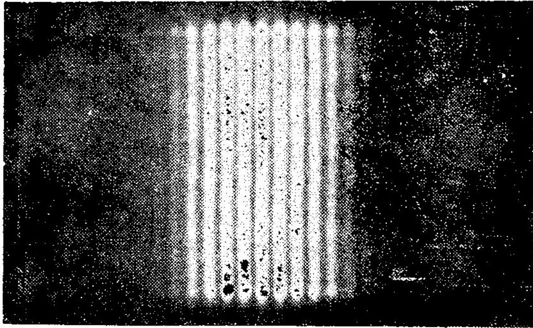
படம் 12-5

குவாண்டம் கொள்கையின்படியான எலெக்ட்ரான் பரப்பீடு.

தக்கது, ஒரு புள்ளியில் $D_1 - D_2 = N\lambda$ எனில் அங்கு ஒரு குறுக்கீட்டுப் பெருமமும் $D_1 - D_2 = (N + \frac{1}{2})\lambda$ எனில் செறிவுச் சிறுமமும் (intensity minimum) விளையும். படம் 12-5-ல் உள்ள திரைக்குப் பதில் ஒரு நிழற்தகட்டை வைப்போமாயின் பெறக்கூடிய நிழற்படத்தைப் படம் 12-6a காட்டுகிறது. ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானும் நிழற்படத் தகட்டைத் தாக்குமிடத்தித்தில் ஒரு கறுப்புப் புள்ளியை ஏற்படுத்துகிறது. இரட்டைப் பிளவு எலெக்ட்ரான் மூலத்தைப் பயன்படுத்திப் பெறப்பட்ட இந்த நிழற்படம் ஆயிரக்கணக்கான எலெக்ட்ரான் தாக்குதல்களின் பயனுகும். ஒப்பிடுவதற்காக ஒளியைப் பயன்படுத்திப் பெறப்பட்ட இரட்டைப் பிளவு குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் படம் 12-6b-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அவ்வாறுயின் குறிப்பிட்ட நிறையையும் மின்னூட்டத்தையும் கொண்டிருக்கும் எலெக்ட்ரான்கள் அலைகளாகவும் எங்ஙனம் இருக்க முடியும்? உண்மையில் இத்தகைய சாத்தியக்கூறை 1924-ல் லூயிடி பிராயில் (Louis De Broglie) என்ற மாணவர் அவரது Ph. D பட்டத்திற்கான ஆய்வுக் கட்டுரையில் முதன் முதலாக எடுத்துரைத்தார். ஒளியானது அலைப்பண்பைப் பெற்றிருப்பதைப் போன்று எல்லாத் துகள்களும் அலைப்பண்புடையதாயிருக்க வேண்டும் என அவர் எடுத்துரைத்தார். அலை-துகள் இருமைக்கான பௌதிக விளக்கமாவது: எந்த ஒரு புள்ளியிலும் துகள் அலையின் செறிவு அப்புள்ளியில் அத் துகளைக் காண்பதற்கான நிகழ்திறத்திற்கு (probability) நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது, என்பதாகும். இதுவே அலை-துகள் இருமை என்பதன் பொருளாகும். இருமை என்ற சொல் பொருத்தமற்றதாக இருக்கக்கூடும். இருமை என்பதன் மூலம் இங்கு என்ன கருதப்படுகிறதெனில்,





படம் 12-6

(*a*) எலெக்ட்ரான் துகள் இரட்டைப் பிளவுக் குறுக்கீட்டுப் பாங்கம். மறிநிலை நிழற்படத் தகட்டில் (Photographic negetive) ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஒரு எலெக்ட்ரானல் உருவாக்கப்படுகிறது. ஒப்பிடுவதற்காக இயல் 10-ல் உள்ள (படம் 10-15) ஒளியின் இரட்டைப் பிளவு குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தையும் (*b*)-ல் காணலாம். இங்கும் மறிநிலை நிழற்படத் தகட்டில் ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஒரு ∴போட்டானல் உருவாக்கப்படுகிறது. படம் (*a*) டுபிங்கன் (Tubingen) பல்கலைக் கழகத்தின் பேராசிரியர் G. மோலன்ஸ்டட் (Mollenstedt) டால் எடுக்கப்பட்டது.

மேற்கூறப்பட்டுள்ளபடி ஒரு துகளின் (அல்லது அலையின்) துகள் பண்புகளுக்கும் அலைப் பண்புகளுக்குமிடையே திட்டவட்டமான ஒரு தொடர்பு இருக்கிறது என்பதாகும். ஒரு துகள் அலையின் அலை நீளத்திற்கும் ஒரு துகளின் உந்தத்திற்குமிடையேயான அளவியல் தொடர்பு ஒன்றையும் எடுத்துரைத்தார். அதாவது P என்ற உந்தத்தையுடைய துகளின் அலைநீளம்

டி பிராயில் தொடர்பு

$$\lambda = \frac{h}{p} \qquad (12\text{-}6)$$

ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு

டி பிராயில் சமன்பாட்டை ஆதாரமாகக் கொண்டு சுழி ஓய்வு நிறையைக்கொண்ட துகள்களுக்கான $W = hf$ என்ற தொடர்பைப் பெறுக. (இந்த வாய்பாடு சுழி ஓய்வு நிறையைக் கொண்ட துகள் களுக்கு மட்டுமே பொருந்தும் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது).

சார்பியல் கொள்கையின்படி $P = Mv; \; M = \frac{W}{c^2}$

எனவே $P = \frac{Wv}{c^2}$

சுழி ஓய்வு நிறையுடைய ஒரு துகளுக்கு $v = c$ ஆதலால் $P = W/c$ சமன் 12-6-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\lambda = \frac{h}{\frac{W}{c}} \text{ அல்லது } W = h\frac{c}{\lambda} = hf$$

சமன் 12-6-ல் இடப்பக்கத்திலுள்ள அலைப்பண்பானது வலப் பக்கத்திலுள்ள துகள் பண்புடன் நேரடியாகவும் நெருக்கமாகவும் தொடர்பு கொண்டுள்ளது. h என்ற விகித மாறிலி பிளாங்க் மாறிலியாகும்; கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு, ஒளிமின் விளைவு, ஹைடிரஜன் நிறமாலை போன்ற சோதனைகளில் அது முன்னரே மதிப்பிடப்பட்டுள்ளது.

அலை-துகள் இருமையானது சில சிக்கலான வினாக்களை எழுப்பு கிறது. எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கியிலிருந்து ஒரு எலெக்ட்ரான் மட்டுமே செலுத்துவதாகக் கொள்வோம். அலைக்கொள்கையின் படி ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானும் இரு பிளவுகள் வழியாகவும் சம

மாகப் பிரிந்து செல்லக்கூடிய ஒரு அலைத் தொடராலேயோ அல்லது அலை சிப்பத்தினுலேயோ (wave packet) குறிக்கப்படுகிறது. ஆனுல் பிளவு A-க்கு அருகில் ஒரு கைகர் எண்ணியையோ, முகிற்கலத்தையோ அல்லது வேறெந்த துகள்காண் கருவியையோ (detector) வைப்போமாயின் அரை எலெக்ட்ரானை ஒத்த எதையும் காண முடியவில்லை; முழுத் துகளைக் காணமுடிகிறது, அல்லது எதையுமே காணமுடிவதில்லை. இது பகா நிலைத்துவம் (principle of indivisibility) என அழைக்கப்படுகிறது. இத் தத்துவம், பிளவு A-க்கு அருகில் அலைச்செறிவு என்பது ஒரு முழு எலெக்ட்ரானை அங்கு காண்பதற்கான நிகழ்திறமாகும் என்ற புனைவு கோளுக்கு (hypothesis) ஏற்பவும் அமைந்துள்ளது. மேலும் A-க்கு அருகில் துகள்காண் கருவி ஒன்று வைக்கப்படின் குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் மறைந்து முதுகொள்கைப்படி அமைந்த எலெக்ட்ரான் பரப்பீடு தோன்றுவதைக் காணலாம். எலெக்ட்ரான் கண்டுணரப்பட வேண்டுமாயின் அது துகள்காண் கருவியுடன் செயலெதிர்ச் செயற்படவேண்டும். அவ்வாருயின் குவாண்டம் கொள்கையின்படி செயலெதிர்ச்செயல் புள்ளியிலிருந்து ஒரு புதிய எலெக்ட்ரான் அலை தொடங்கி ஒற்றைப் பிளவுப் பாங்கத்தை விளைவிக்கிறது. மாருக A-க்கு அருகில் வைக்கப்பட்ட கருவியினுல் கண்டுணரப்படாமல் ஒரு எலெக்ட்ரான் திரையை அடையுமாயின் அது B வழியாகச் சென்றிருக்க வேண்டுமென்பதை நாமறியலாம். இவ்வாருக, A-க்கு முன் துகள்காண் கருவி வைக்கப்படுவதால் படம் 12-5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு அமையக்கூடிய குறுக்கீட்டுப்பாங்கம் படம் 12-4-ல் காட்டப்பட்ட முதுகொள்கைப் பாங்கமாக மாறுகிறது. குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தை அழிக்காமல் ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானும் பயன்படுததக்கூடிய பிளவை உணர்த்தக் கூடிய ஒரு சோதனையை அமைக்க ஐன்ஸ்டீன் உட்பட பல பௌதிகர்கள் முனைந்தனர். ஆனுல் அவர்களது முயற்சிகள் யாவும் பயனற்றுப்போயின.

12-4 எலெக்ட்ரானின் விளிம்பு விளைவு

எலெக்ட்ரானைப் பிளப்பது எப்படி? அப்பிளவை அறியாதிருப்பது எப்படி,

டி பிராயிலின் புனைவுகோள் 1927-ல் C.J. டேவிஸன் (Davisson) L.H. ஜெர்மர் (L.H. Germer) என்ற இரு அமெரிக்கப் பௌதிகர்களால் எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவுச் சோதனையின் மூலமாக முதன்முதலாக நிரூபிக்கப்பட்டது. இந்த அரிய சோதனை கண்டுப்பிடிப்பும் பௌதிகத்தில் மிக முக்கியம் வாய்ந்த பல சோதனைகளைப்போல் எதிர்பாராமல் நிகழ்ந்ததே என்பதை அறியும்பொழுது நாம் வியப்புக்குள்ளாவோம். உண்மையில்

அவ்விரு விஞ்ஞானிகளும் அவர்களது சோதனையின் தொடக்கத்தில் எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவைப்பற்றிக் கேள்விபடவேயில்லை 1926-ல் இங்கிலாந்தில் ஆக்ஃபோர்டில் நடைப்பெற்ற அனைத்துலக மாநாடு ஒன்றிற்கு டேவிஸன் அவரது பூர்வாங்கக் குறிப்புகளுள் சிலவற்றை எடுத்துச் சென்றார். அவை எலெக்ட்ரான் சிதறலைப் பற்றிய அவரது ஆராய்ச்சிக்குரிய முடிவுகளாகும். ஆனால் மாநாட்டிலுள்ள ஐரோப்பிய பௌதிகர்கள் அவை எலெக்ட் சிதறலைக் குறிப்பதற்கு மாறாக எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவைக் குறிக்கலாமென உணர்த்தினர். சில மாதங்களுக்குப் பிறகு டேவிஸனும் ஜெர்மரும் எலெக்ட்ரான்களின் அலைத் தன்மையைத் திட்டவட்டமாக நிறுவக்கூடிய குறிப்புக்களைப் பெற்றதோடு பிளாங்க் மாறிலியின் மதிப்பையும் ஒரு சதவீதத்திற்குத் துல்லியமாகக் கணக்கிட்டனர். அவர்கள் ஒற்றை உலோகப்படிகம் ஒன்றின் பரப்பிலிருந்து குறைந்த ஆற்றல் எலெக்ட்ரான்களைச் சிதரச் செய்தனர். படிகத்தின் பரப்பில் ஒழுங்குடன் அமைந்த அணுவரிசைகள் விளிம்பு விளைவுச் கீற்றணியின் மிக நுண்ணிய கோடுகளாகச் செயற்பட்டன. அணுவிடைத் தூரத்தின் (automic spacing) மதிப்பை அறிந்து எலெக்ட்ரான் அலைநீளம் மதிப்பிடப் பட்டது.

மாதிரிக் கணக்கு

எலெக்ட்ரான் கற்றை ஒன்று 100 வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் வழியே முடுக்கப்படுகிறது. எலெக்ட்ரான் அலை நீளம் என்ன ?

$$KE = \frac{P^2}{2m} = eV. \quad \text{ஆனால் } eV = 100 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-10} \text{ எர்க்.}$$

$$P = \sqrt{2meV} = 5.4 \times 10^{-19} \text{ கி.செ.மீ./வி}$$

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{6.62 \times 10^{-27}}{5.4 \times 10^{-19}} = 1.23 \times 10^{-8} \text{ செ.மீ.}$$

$$= 1.23 \text{ Å}$$

1924-ல் டி பிராயில் அலை-துகள் இருமைக் கொள்கையை வெளியிட்டதை அடுத்து G. P. தாம்சன் என்ற ஆங்கில நாட்டுப் பௌதிகர் எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவைக் காண்பதற்காக முறையான வழியில் தொடங்கினார். உயர்ந்த ஆற்றல் எலெக்ட்ரான்களை மெல்லிய உலோகத்தாள் வழியே அனுப்புவதன் மூலம் எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவைக் காண்பதே அவரது முறையாகும். X-கதிர்களின் அலை நீளம் எலெக்ட்ரான் அலைநீளத்திற்கு

ஏறத்தாழ சமமாயிருப்பதால் இதற்கு முன்னர் பெறப்பட்ட X-கதிர் விளிம்பு விளைவுப் படங்களையொத்த எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவுப்படங்களைப் பெறலாம் என தாம்ஸன் எண்ணினர். ஏறத்தாழ 1928-ல் X-கதிர் விளிம்பு விளைவுப் படங்களைப் பெரிதும் ஒத்திருக்கக்கூடிய எலெக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவைப் பொறுத்தவரை 'எதிர்பாராமல்' கண்டுபிடிக்கப்பட்ட முறையானது கவனமாக ஆராய்ந்து மேற்கொள்ளப்பட்ட முறையைவிட விரைவாக வெற்றி தந்தது என்பதைக் காணலாம். இக்கருத்து விஞ்ஞான முறை என்ற கருத்துடன் பொருந்தாமலிருக்கலாம்; ஆனால் அதுதான் உண்மையான வளரும் விஞ்ஞானம். டேவிசன், ஜெர்மர் ஆகியோரின் சோதனையானது முறைப்படி அமைந்த விஞ்ஞான முறைக்கு ஒரு நல்ல எடுத்துக்காட்டாகும். ஒரு ஆய்வாளர் அவருக்குப் புரியாத ஒரு விளைவை எதிர்பாராமல் கூட காண்பாரேயாகில் அதனைப் புரிந்து கொள்ளும் வரைத் தொடர்ந்து கவனமாக ஆராயவேண்டும்.

இப்பொழுது எலெக்ட்ரான்கள், நியூட்ரான்கள், புரோட்டான்கள், அணுக்கள் முதலியவற்றின் அலைப்பண்புகள் விரிவாக ஆராயப்பட்டுள்ளன எனக் கூறத் தேவையில்லை. பருப்பொருளின் அலைப்பண்பு இப்பொழுது மிகவும் உறுதியாக நிறுவப்பட்டுவிட்டது. அக்கொள்கைக்குப் புறம்பான எதுவும் காணப்படவில்லை.

12-5 ஐயத்தத்துவம் (uncertainty principle)

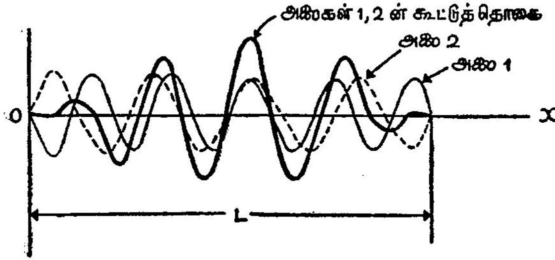
இயற்கை அன்னையும் அறியாதது உண்டு

குவாண்டம் கொள்கையின் கருத்தைக் கவரும் விளைவு ஒன்று உண்டு. அது ஒரு துகளின் சரிநுட்பமான நிலையையும் திசைவேகத்தையும் ஒருங்கே குறிப்பிட முடியாது என்பதாகும். குவாண்டம் கொள்கையின் 'புதிர்வாய்ந்த' இவ்விளைவு ஐயத்தத்துவம் எனப்படுகிறது. காட்டாக, ஒரு துகளின் உந்தத்தை மிகவும் துல்லியமாக அறிவதாகக் கொள்வோம். அத் துகள் $\lambda = h/P$ என்னும் வாய்பாட்டால் பெறப்படும் சிறப்பு மதிப்புள்ள அலைநீளத்தைப் பெற்று தொடர்ச்சியான தள அலையாக (plane wave) அமையும். இந்த அலையின் செறிவு சீரானதாகையால் அத்தகைய துகளை வெளியிடத்தில் காண்பதற்கான நிகழ்திறம் எல்லாப் புள்ளியிலும் சமமாக இருக்கும். மாறாக, அத்துகள் வெளியிடத்தின் ஒரு குறுகிய இடத்தில் அமைந்துள்ளதாக அறிவோமாயின் அதன் அலையானது சிறப்பு λ-வையோ (P-யையோ) பெற்றிராத குறுகிய அலைச்சிப்பமாக அமையும். இவ்வாறாக, ஒரு துகளின் சரிநுட்பமான நிலையையும் திசைவேகத்தையும்

ஒருங்கே அறியமுடியாது, உந்தமதிப்பில் ஐயப்பாடான ΔP-ம் துகளின் இருப்பிடத்தைப் பற்றிய ஐயப்பாடான Δx-ம் ஹைஸன்பர்க் ஐயத்தத்துவம்

$$(\Delta x)(\Delta P) \approx h \tag{12-7}$$

என்ற தொடர்புக்கு உட்படவேண்டும் என *W.* ஹைஸன்பர்க் (W. Heisenberg) நிறுவினுர். ≈ என்ற குறியீடு ஏறத்தாழ சமம் என்பதைக் குறிக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லைக்குட்பட்ட துகள் அல்லது அலைச்சிப்பம் என்பது உண்மையில் ஏறத்தாழ அதே (வரம்பிலா) அலைநீளமுடைய தனி சைன் அலைகளின் தொகுபயன் என்பதைக் கருத்திற் கொள்வதன்மூலம் சமன் **12-7**-ஐப் பெறலாம்.



படம் 12-7

இரு தனி சைன் அலைகளின் தொகுபயனுன அலைச்சிப்பத்திற்கான எடுத்துக்காட்டு

படம் 12-7-ல் உள்ள தடித்த கோடு L நீளமுள்ள ஒரு அலைச்சிப்பத்தை மிகவும் பொருத்தமான வகையில் குறிக்கிறது. λ_1, λ_2 அலைநீளங்களுள்ள இரு தனி சைன் அலைகளால் மட்டுமே அது ஆக்கப்பட்டுள்ளது என்பதைக் காணலாம். L நீளத்தில் இரண்டாவது அலை முதலாவது அலையைவிட ஒரு அலைநீளம் அதிகமாகப் பெற்றுள்ளது. எனவே N என்பது ஒரு முழு எண் என்ருல்

$$\frac{L}{\lambda_1} = N + 1, \ \frac{L}{\lambda_2} = N \tag{12-8}$$

ஆகும். $x = 0$-ல் அவ்விரு அலைகளும் எதிர் கட்டங்களில் இருந்தால் $x = L/2$-ல் ஒத்த கட்டங்களிலும் $x = L$-ல் மீண்டும் எதிர் கட்டங்களிலும் அமையும். அத்தகைய இரு அலைகளின் படம் 12-7-ல் காட்டப்பட்டுள்ள தொகுபயன் L நீளமுடைய அலைச்சிப்பத்திற்கான சிறந்த எடுத்துக்காட்டாகும். சமன் 12-8-ன்படி

$$\frac{L}{\lambda_1} - \frac{L}{\lambda_2} = 1. \qquad \frac{1}{\lambda} = \frac{P}{h}$$ ஆதலால்

$$L\left(\frac{P_1}{h} - \frac{P_2}{h}\right) = 1$$

$$L(P_1 - P_2) = h$$

$\triangle x = L$ என்பது துகள் காணப்படக்கூடிய பகுதி என்ருல் $(\triangle x)(\triangle P) = h.$

கருத்தார்ந்த ஒருவர் மேற்கூறப்பட்ட முறைக்கு மறுப்புக் கூறலாம். ஏனெனில் 12-7-ல் காணப்படாத, படத்திற்கு வட புறமும் தென்புறமும் விளையக்கூடிய ஆக்கக் குறுக்கீடுகள் இருக்கக் கூடும். எனினும் λ_1, λ_2 ஆகியவற்றின் சராசரிக்கு ஏறத்தாழ சமமான அலைநீளங்களையுடைய மேலும் பல அலைகளைச் சேர்ப்பதன் மூலம் அத்தகைய அலைச்சிப்பங்களை அழிக்கமுடியும். அத்தகைய அலைகள் மைய அலைச்சிப்பத்திற்கு எதிர்கட்டத்தில் அமைய முடியாதெனினும் தொலைவிலுள்ள அலைச்சிப்பங்களுக்கு எதிர் கட்டங்களில் அமையமுடியும். ஆதலால் அவற்றைத் தக்கவாறு மாற்றியமைப்பதன் மூலம் மையச் சிப்பத்திற்கு இருபுறமுமுள்ள அலைச்சிப்பங்களை முழுவதுமாக அழிக்கமுடியும். ஃபூரியர் பகுப் பாய்வு (Fourier analysis) எனப்படும் இக்கணிதவியல் முறைக்குத் தொகை நுண்கணிதத்தைப் பயன்படுத்தக்கூடிய எண்ணற்ற தனி சைன்-அலைகள் தேவைப்படுகின்றன.

முது பௌதிகத்தால் வலியுறுத்தப்பட்ட மெய்யுணர்வார்ந்த ‘இரண்டக நிலையிலிருந்து மீள்வதற்கு நவீன குவாண்டம் கொள்கை வழிகோலுவதைக் காண்கிறோம். அண்டத்திலுள்ள எல்லா துகள்களின் சரிநுட்பமான நிலைகளையும் திசைவேகங்களை யும் t_0 என்ற நேரத்தில் ஒருவர் அறிவாராயின் சரிநுட்பமான பௌதிக விதிகளிலிருந்து கொள்கையளவில் அவர் அண்டத்தின் எதிர்கால (மற்றும் கடந்த கால)ப் போக்கைக் கணிக்க முடியும் என முதுகொள்கைக் காலங்களில் கூறப்பட்டது. அண்டமானது அக்காலங்களில் ஒரு மிகப்பெரும் எந்திரமாகக் கருதப்பட்டது. அத்தகைய பகுத்தறிவின் அடிப்படையில், மனிதனின் செயல்கள் யாவும் (மனிதர்களும் புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள், எலெக்ட்ரான்களால் ஆனவர்களே) முற்றிலுமாக முன்னுறுதி செய்யப்பட்டிருக்குமென மெய்யுணர்விகள் முடிவு செய்யக்கூடும். ஆயினும் அண்டத்திலுள்ள எண்ணற்ற துகள்களின் பயனுய் எதிர் காலம் அல்லது கடந்த காலத்தைப் பற்றிய அத்தகைய கணக்கீடு களை ஒருபோதும் செய்யமுடியாது என உணரப்பட்டது. எனினும் கருத்துச் சுதந்திரத்தில் நம்பிக்கை உள்ளவர்களுக்கு அத்தகைய பகுத்தறிவு மனக்கவலை தருவதாகவே இருந்தது.

ஐயத்தத்துவத்தை மனதிற்கொண்டு நோக்குவோமாயின் குவாண்டம் கொள்கையானது இத்தகைய இரண்டக நிலையி லிருந்து மீள்வதற்குரிய வழியை நமக்களிக்கிறது என்று அறிய லாம். இவ்வாருக இப்பொழுதெல்லாம் முது நியதிவாதத்தைப் (classical determinism) ஏற்றுக்கொள்ளுமாறு பௌதிகர்கள் வலி யுறுத்தப்படுவதில்லை. மாருக நியதிவாதத்தைப் பொய்யாக்க நவீன கொள்கையைப் பயன்படுத்த முடியாது.

ஐயத்தத்துவத்தை அன்றி முது நியதிவாதத்தின் இன்றியமை யாமையை மறுத்துரைக்கும் எடுத்துக்காட்டுகளையும் நாம் கண்டோம். காட்டாக, குவாண்டம் கொள்கைக்கான பொது வாக ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்ட விளக்கத்தின்படி ஒளிமின் விளைவில் எந்த எலெக்ட்ரான ஒரு ஃபோட்டானை உட்கவரும் என்று அறிவதற்கான வழியேதும் கிடையாது. ஒரு குறிப்பிட்ட எலெக்ட் ரானுல் ஒரு ஃபோட்டான் உட்கவரப்படுவதற்கான நிகழ்திறத் தையே நாம் கணக்கிட முடியும். படம் 12-4-ல் உள்ள திரையில் ஒற்றை எலெக்ட்ரான் ஒன்று தோன்றக்கூடிய புள்ளியைக் காண் பதிலும் அதே நிலைதான். அலைக்குறுக்கீட்டுப் பாங்கமானது ஒரு குறிப்பிட்ட எலெக்ட்ரான் திரையின்மீது ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் தோன்றுவதற்குரிய நிகழ்திறத்தையே நமக்கு அளிக்கிறது. யுரேனியம் போன்ற கதிரியக்க அணுக்கருக்களின் சிதைவுக்கும் அதே நிலைதான். அதாவது, தனியொரு யுரேனியம் அணுக்கரு எப்போது சிதைவுறும் என்று கூறமுடியாது. குவாண்டம் கொள்கையின்படி நாம் அறியக்கூடியதெல்லாம் ஒரு குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் அந்த அணுக்கரு சிதைவுறுவதற்குரிய நிகழ் திறமேயாகும்.

சிறு துகள்களின் செயலெதிர்ச் செயல்கள் மற்றும் அமைப் பைப் பற்றிய துறையில் குவாண்டம் கொள்கையானது முது கொள்கையினின்றும் முற்றிலும் வேறுபட்டிருப்பதை நாம் காண் கிறோம் நம் எண்ணப்படி குவாண்டம் கொள்கை பிழையற்ற தாயிருப்பின் அடிப்படை நிகழ்ச்சிகளையும் பருப்பொருளின் அடிப் படை அமைப்பையும் முது பௌதிகத்தைப் பயன்படுத்தி ஆராய் வதில் எவ்விதப் பயனும் இல்லை. எனவே அணு அமைப்பைப் பற்றியும் அதனுடன் இணைந்த மற்ற நிகழ்ச்சிகளைப் பற்றியும் கூறும் பின்வரும் இயல்களில் முது பௌதிகத்தை அறவே ஒழித்து இந்த இயலில் அறிமுகமான புதுக்கருத்துக்கள் பயன்படுத்தப் பட்டுள்ளன.

கணக்குகள்

1. 1 Mev ஃபோட்டான் ஒன்றின் அலைநீளம் எத்தனை

ஆங்ஸ்ட்ராம்கள்?

2. ஒரு ஃபோட்டானின் ஓய்வு நிறை சுழியாயின் அதன் இயக்க ஆற்றல் என்ன?

3. ஒரு ஃபோட்டானின் நிலைம அல்லது சார்பியல் நிறையை h, λ, c ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் கணக்கிடுக.

4. ஒரு ev எலெக்ட்ரானின் உந்தம் என்ன? அதன் அலை நீளம் எத்தனை ஆங்ஸ்ட்ராம்கள்?

5. 1 ev இயக்க ஆற்றலையுடைய ஒரு ஃபோட்டான் ஒரு எலெக்ட்ரான் ஆகிய இரண்டினுள் எது அதிக அலைநீளத்தைப் பெற்றுள்ளது?

6. ஒவ்வொரு உலோகத்திற்கும் ஒரு ஒளிமின் விளைவுப் பயன்தொடக்க அலைநீளம் (Photo electric threshold) λ_0 உள்ளது. λ_0-ஐவிட அதிக அலைநீளம் கொண்ட கதிர்வீச்சுக்கள் எலெக்ட்ரான்களை வெளிப்படுத்தா. தாமிரத்திற்கான λ_0-ன் மதிப்பு என்ன? ($W = 4.3$ ev).

7. ஒரு ஃபோட்டான் 2-ev வெளியேற்று ஆற்றலையுடைய ஒரு உலோகத்திலிருந்து 2-ev எலெக்ட்ரான் ஒன்றை வெளியேற்றுகிறது. ஃபோட்டானின் சிறும ஆற்றல் என்ன?

8. விழித்திரையில் 1.7×10^{-18} வாட் திறனை அளிக்கக் கூடிய மஞ்சள் ஒளியானது (6000A) படுமளவில் மனிதனின் கண்களுக்கு அவ்வொளி புலனாகிறது. அவ்வாறாயின் ஒரு வினாடிக்கு எத்தனை ஃபோட்டான்கள் விழித்திரையை அடையும்?

9. ஒரு அலையின் செறிவு என்பது அலைவீச்சின் இருமடியாகும். குவாண்டம் கொள்கையின் பருப்பொருள் அலைகள் (Matter - waves) அல்லது நிகழ்திற அலைகளுக்கும் (Probability-waves) இக் கருத்து பொருந்தும். இரட்டைப் பிளவு சோதனையில் திரையின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியை A, B பிளவுகளிலிருந்து வந்தடையக்கூடிய அலைவீச்சுக்கள் முறையே $+3$, $+5$ அலகுகள் எனவும் A பிளவிலிருந்து மட்டும் வரக்கூடிய எலெக்ட்ரான்களின் கணிப்பு வீதம் 60 கணிப்புகள்/வி எனவும் கொள்வோம்.

(a) B-லிருந்து மட்டும் பெறக்கூடிய கணிப்பு வீதம் என்ன?

(*b*) இரு பிளவுகளும் திறந்திருக்கும்போது கணிப்பு வீதம் என்ன ?

10. *A*-லிருந்தும் *B*-லிருந்தும் அலைவிச்சுக்கள் முறையே $+3$, -5 அலகுகளாக இருக்கும்பொழுது மேற்கூறப்பட்ட கணக்கையே செய்க.

11. வெப்பநிலை நியூட்ரான்கள் (Thermal neutrons) அறை வெப்பநிலையிலுள்ள பொருட்களுடன் வெப்பச் சமநிலையில் உள்ளன. அறைவெப்ப நிலையில் $kT = 1/40$ ev நியூட்ரானின் நிறை 1.67×10^{-24} கி. வெப்பநிலை நியூட்ரானின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் என்ன? அத்தகைய ஆற்றலையுடைய நியூட்ரானின் அலைநீளம் என்ன ?

12. மிக மெல்லிய இரு பிளவுகள் 0.01 மி.மீ. இடைவெளியில் உள்ளன. 1 ev எலெக்ட்ரான் கற்றை ஒன்று இப் பிளவுகளின்மீது மோதுகிறது. பிளவுகளிலிருந்து 10 மீட்டர் தொலைவில் உள்ள ஒரு திரையில் அடுத்தடுத்த சிறுமங்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு என்ன ?

13. இந்நூலாசிரியர் முதன் முதல் நியூட்ரான்களைப்பற்றி அறிந்தபோது நியூட்ரான் என்பது நிலைமின் ஈர்ப்பு விசையால் இணைக்கப்பட்ட ஒரு எலெக்ட்ரான், ஒரு புரோட்டான் ஆகியவற்றால் ஆனது எனக் கற்பிக்கப்பட்டார். நியூட்ரான் ஆரம் 10^{-13} செ.மீ எனக் கொள்க.

(a) ஐயத்தத்துவத்தின்படி அத்தகைய எலெக்ட்ரானின் $\triangle P$ என்ன ? எலெக்ட்ரான் நியூட்ரானுக்குள் அமைந்திருக்க வேண்டும்.

(b) அத்தகைய எலெக்ட்ரான் பெற்றிருக்கக்கூடிய மிகக் குறைந்த சராசரி உந்தம் $\frac{1}{2}\triangle P$ ஆகும். அத்தகைய எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் எத்தனை Mev-க்கள் ஆகும். ($W = \sqrt{(m_0c^2)^2 + P^2c^2}$ என்ற சார்பியல் தொடர்பைப் பயன்படுத்துக).

(c) நிலைமின் விசையை வென்று அந்த எலெக்ட்ரானை 10^{-13} சென்டிமீட்டரிலிருந்து முடிவிலாத் தொலைவுக்கு எடுத்துச் செல்ல எத்தனை எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் ஆற்றல் தேவை?

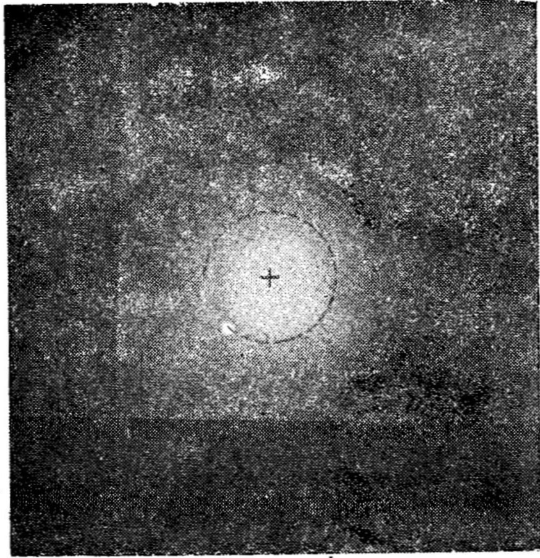
(d) (*b*), (*c*) ஆகியவற்றிற்குரிய விடைகளைக் கொண்டு நியூட்ரானைப் பற்றிய இக் கொள்கையைப் பற்றி

என்ன கருதுகிறாய் ?

14. ஒரு ஃபோட்டான் ஒற்றைத் தனி எலெக்ட்ரானுடன் பிலியட் பந்தின் மோதலைப் போன்ற ஒரு மோதலை விளைவிக்கக் கூடும். இந்நிகழ்ச்சி 1923-ல் A.H. காம்ப்டன் (A.H. Compton) என்பவரால் முதன்முதலாகக் காணப்பட்டது ; காம்ப்டன் விளைவு (Compton effect) என அழைக்கப்படுகிறது. பின்னெழு எலெக்ட்ரான் (recoil electron) $\frac{1}{2}mv^2$ அளவு ஆற்றலை எடுத்துக் கொள்வதால் ஃபோட்டானின் ஆற்றல் hf-லிருந்து hf' ஆகக் குறைகிறது. ($f' < f$). ஃபோட்டானும் எலெக்ட்ரானும் நேர்குத்தாக (head-on collision) மோதிக் கொள்கின்றன எனக் கருதுக. (ஃபோட்டான் எலெக்ட்ரான்மீது மோதி அதன் திசையை 180° திருப்புகிறது).

(a) உந்த அழிவின்மை விதியின் அடிப்படையில் f, f', v ஆகியவற்றிற்கிடையேயான ஒரு சமன்பாட்டை எழுதுக.

(b) ஆற்றல் அழிவின்மை விதியின் அடிப்படையில் f, f', v ஆகியவற்றிற்கிடையேயான மற்றொரு சமன்பாட்டை எழுதுக.



அணுக் கொள்கை
(Atomic Theory)

இயல் 13

அணுக் கொள்கை

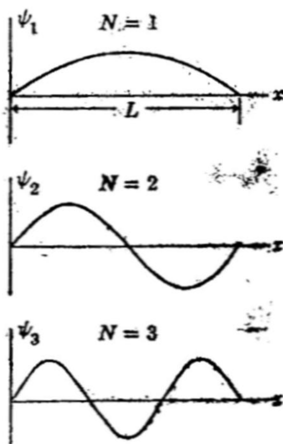
13-1 பெட்டியினுள் எலெக்ட்ரான் அலைகள்

சிறைப்பட்ட கட்டுறு எலெக்ட்ரான்

நயம் நீக்கிச் சொல்லுவோமாயின் அணுவையோ, மூலக்கூறையோ எலெக்ட்ரான்கள் சிறை வைக்கப்பட்ட சிறியதொரு பெட்டி என்றுதான் கூறவேண்டும் எல்லா அணுக்களும் மூலக்கூறுகளும் வெளியிடத்தின் ஒரு நிலையான பகுதியில் எலெக்ட்ரானைப்பற்றி வைத்திருக்கக்கூடிய சிறப்புப் பண்பைப் பெற்றிருக்கின்றன. அந்த எலெக்ட்ரான் அத்தகைய பெட்டியின் சரியான தன்மையைச் சார்ந்திராமல் சில பொதுவான குவாண்டம் விசையியல் பண்புகளைப் பெற்றிருக்கும். அப் பண்புகள், அணுக்கள் ஏன் குறிப்பிட்ட அடுக்கங்களை மட்டும் வெளிவிடுகின்றன, அவை ஏன் அழிவதில்லை என்ற முதுகொள்கைப் புதிர்களுக்கு விளக்கங் கூறுகின்றன. முதலில், எளிய நிகழ்ச்சியாக, ஒரு பெட்டியில் அடைக்கப்பட்டுள்ள ஒற்றை எலெக்ட்ரானைப் பற்றிப் பார்ப்போம். அடுத்து ஒரு புரோட்டானின் ஈர்ப்புத் தன்மையுடைய நிலைமின் புலத்திற்குட்பட்ட ஒற்றை எலெக்ட்ரானைப் பற்றிப் பார்ப்போம். இரண்டாவதாகக் கூறப்பட்டது ஹைடிரஜன் அணுவைக் குறிக்கும்.

L நீளமுள்ள ஒரு பெட்டியில் அடைக்கப்பட்ட ஒரு கட்டற்ற எலெக்ட்ரானைக் கருதுவோம். துகள்களின் அலைப்பண்பின் பயனாக அது, 100% பிரதிபலிக்கும் சுவர்களையுடைய ஒரு அறையினுள் ஒளி அலை ஒன்று முன்னும் பின்னும் துள்ளிச் செல்வதுபோல செயற்படவேண்டும். தொடர் அலை ஒன்று ஒரு கயிற்றின் முனையிலோ அல்லது சுவற்றிலோ பிரதிபலிக்கப்படும்பொழுது ஏற்படக்கூடிய விளைவை இயல் 10-லிருந்து நாமறிவோம். தனிசைன் அலை ஒன்று ஒரு கயிற்றின் முனையிலிருந்து பிரதிபலிக்கப்படும்பொழுது பிரதிபலிக்கும் பரப்பில் ஒரு கணுவைக் கொண்டுள்ள நிலை அலைகள் உருவாகின்றன என்பதை நாம் நினைவு

கூறலாம் (படம் 10-9). பெட்டிக்குச் சற்று வெளியே ஒரு எலெக்ட்ரானைக் காண்பதற்கான நிகழ்திறம் சுழியாதலால் பெட்டியின் சுவர்களில் எலெக்ட்ரான் அலையம் (Wave function) சுழி எனக் கொள்ளவேண்டும். பெட்டியினுள் ஏதோ ஒரு புள்ளியில் எலெக்ட்ரானைக் காண்பதற்குரிய மொத்த நிகழ்திறம் ஒன்று என்ற நிபந்தனைமூலம் அலைவீச்சு மதிப்பிடப்படுகிறது.



படம் 13-1

L நீளமுள்ள ஒரு 'பெட்டி'யில் உள்ள மூன்று வகை சிறும ஆற்றல் எலெக்ட்ரான் நிலை அலைகள் (Lowest energy electron standing waves). இவை ஒரு கயிற்றின் மீதான (படம் 10-9) நிலை அலைகளை ஒத்திருப்பதைக் காணலாம்.

படம் 13-1 x திசையில் செல்லும் எலெக்ட்ரான்களுக்கான எலெக்ட்ரான் அலை வீச்சுக்களின் தன்மையைக் காட்டுகிறது. துகள் அலையத்தின் வீச்சைக் குறிப்பதற்குப் பௌதிகர்கள் வழக்கமாக ψ (ப்சை) என்ற கிரேக்க எழுத்தைப் பயன்படுத்துகிறார்கள். சுவர்களில் எலெக்ட்ரான் அலை சுழியாகவேண்டும் என்ற நிபந்தனையின் பயனாய் பெட்டியின் நீளமான L தொலைவில் முழு எண் அரை அலை நீளங்களைக் கொண்ட எலெக்ட்ரான் அலைகளை மட்டுமே அனுமதிக்கமுடியும். எனவே N என்பது சுழியைவிடப் பெரிதான முழு எண்ணானால் $N(\lambda_N/2) = L$ அல்லது $\lambda_N = 2L/N$. எனவே குறிப்பிட்ட சில அலையங்கள் அல்லது எலெக்ட்ரான் நிலைகளே அனுமதிக்கப்படுகின்றன என்பதை நாம் காணலாம். டி பிராயில் தொடர்பான சமன் 12-6-ன் பயனாக ஒரு எலெக்ட்ரான் அனுமதிக்கப்பட்ட நிலைகளுக்குரிய $P_N = h/\lambda_N$ என்ற உந்த மதிப்புக்களை மட்டுமே பெறக்கூடும். λ_N-க்கான மதிப்பைப் பதிலீடு செய்வோமாயின் உந்தத்திற்கான மதிப்புக்களை $P_N = Nh/2L$ எனப் பெறலாம். அவற்றிற்குரிய ஆற்றல் மதிப்புக்கள்

$$W_N = \tfrac{1}{2}mV_N^2 = \tfrac{1}{2}\frac{P_N^2}{m}$$

பெட்டியிலுள்ள ஆற்றல் நிலைகள்

அல்லது $W_N = \frac{h^2}{8mL^2} N^2$ (13-1)

N என்பது குவாண்டம் எண் (Quantum number) என அழைக்கப் படுகிறது ; அது சுழியைத்தவிர எந்த முழு எண் மதிப்பையும் பெற்றிருக்கும். எனவே, எலெக்ட்ரான் பெற்றிருக்கக்கூடிய மிகக் குறைந்த ஆற்றல் $W_1 = h^2/8mL^2$ ஆகும். இது சுழிநிலை ஆற்றல் (Zero point energy) எனப்படும். சுழிநிலை ஆற்றலைவிடக் குறைந்த ஆற்றலையுடைய நிலை இல்லையாதலால் எலெக்ட்ரான் அதைவிடக் குறைந்த ஆற்றலைப் பெறுவதென்பதில்லை. முது கொள்கைப்படி ஒரு எலெக்ட்ரான் அதன் இயக்க ஆற்றல் சுழியாகும்வரை பெட்டியின் சுவர்களில் மோதியெழும் (முடுக்கம் பெறும்) ஒவ் வொரு முறையும் மின்காந்த அலைகளை வெளிவிடும். இவ்வாருக, ஹைடிரஜன் அணுவை அதன் மிகக் குறைந்த ஆற்றல் நிலையில் நிலைத்திருக்க அனுமதிக்கும் குவாண்டம் விசையியலின் திறத்தை நாமறிய முற்படுகிறோம். (அதுவே சிறும ஆற்றல்நிலை ஆதலால் அதனைவிடக் குறைந்த ஆற்றல் நிலைக்கு அவ்வணு குலைய அனுமதிக் கப்படுவதில்லை).

மின்விசையியல் விதிகளை குவாண்டம் விசையியல் நிகழ்ச்சி களுக்குப் பயன்படுத்தும்பொழுது மின்துகள் ஒன்று ஒரு கணத்தில் ஒரு ஃபோட்டானை மட்டுமே வெளிவிடக்கூடும் என அறியப் பத்கிறது. எனினும் பெட்டியிலுள்ள நமது எலெக்ட்ரான் குறிப்பிட்ட சில வரையறுக்கப்பட்ட அல்லது தனித்தனி ஆற்றல் களை மட்டுமே பெற்றிருக்கக் கூடுமாதலால் அது வெளிவிடக்கூடிய ஃபோட்டான் ஆற்றல்களும் வரையறுக்கப்பட்டதாயமையும். ஆற்றல் அழிவின்மை விதிப்படி அது வெளிவிடும் கதிர் வீச்சின் அடுக்கங்களை

$$hf = W_{N'} - W_N \quad (N' > N) \tag{13-2}$$

என்னும் சமன்பாட்டிலிருந்து பெறலாம். அதாவது $W_{N'}$ ஆற்றலைக் கொண்டுள்ள எலெக்ட்ரான் $(W_{N'} - W_N)$ ஆற்றலை யுடைய ஒரு ஃபோட்டானை வெளிவிடுவதன் மூலம் திடீரென W_N என்ற குறைந்த ஆற்றல் நிலையை அடையலாம். அணுக்கள் தொடர்நிறமாலையை வெளிவிடுவதற்கு மாருக தனித்தனி அடுக்கங்களை கொண்ட நிறமாலையை வெளிவிடுவதன் காரணத்தை இப்பொழுது நாமறிகிறோம். எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு பெட்டிக்குள் அடைக்கப்பட்டாலோ அல்லது அணுக்கருவைச் சுற்றியுள்ள பகுதி யில் கட்டுப்பட்டாலோ, பருப்பொருளின் அலைப்பண்பின் பயனுக,

அவற்றை வரையறுக்கப்பட்ட சில நிலை அலைகளாக மட்டுமே கருதமுடியும். பருப்பொருளின் அத்தகைய அலைப்பண்பின் பயனாகவே அணுக்கள் தனித்தனி அடுக்கங்களை வெளிவிடுகின்றன.

மாதிரிக் கணக்கு

x திசையில் 10^{-8} செ.மீ நீளமுள்ள ஒரு பெட்டியில் ஒரு எலெக்ட்ரான் அடைக்கப்பட்டுள்ளது. x திசையில் மட்டும் உள்ள இயக்கத்திற்கு :

(a) சுழிநிலை ஆற்றல் எத்தனை ev-க்கள்

(b) $N' = 2$ நிலையிலிருந்து $N = 1$ நிலைக்கு நிகழும் மாற்றத்தின் போது வெளிவிடப்படும் ஒளியின் அலைநீளம் என்ன ?

சமன் 13-1-ன்படி சுழிநிலை ஆற்றல்

$$W_1 = \frac{h^2}{8mL^2} = 6.02 \times 10^{-11} \text{ எர்க்} = 37.5 \text{ ev}$$

ஃபோட்டான் ஆற்றல்

$$hf = W_2 - W_1 = \frac{h^2}{8mL^2}(2^2 - 1^2)$$

$$hf = 3 \times 37.5 = 112.5 \text{ ev.}$$

ev அலகில் உள்ள ஃபோட்டான் ஆற்றலுக்கும் A அலகில் உள்ள அலைநீளத்திற்குமான தொடர்பைக் குறிக்கும் சமன் 12-4-ன்படி $\lambda = 12,345/112.5 = 110A$.

இந்தக் கதிர்வீச்சு கண்ணுக்குப் புலப்படாது. அது புற ஊதாக் கதிர் ஆகும்.

13-2 ஹைடிரஜன் அணு

பஞ்சுச் சுவர் பெட்டி

இதுவரை, பெட்டியினுள் எல்லாப் புள்ளியிலும் எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் ஒரே அளவாய் இருக்கக்கூடிய சிறப்பு நிகழ்ச்சியை ஆராய்ந்தோம். அடுத்து, 'பெட்டி'யினுள் எலெக்ட்ரானின் இருப்பிடத்தைப் பொறுத்து அதன் இயக்க ஆற்றல் மாறக்கூடிய பொதுநேர்வை ஆராய்வோம்.

ஒரு எலெக்ட்ரான் ஒரு புரோட்டானை நோக்கிப் பாயும் பொழுது அதன் இயக்க ஆற்றல் அதிகமாகிறது. அந்நிலையில் எலெக்ட்ரான் அலையம் எவ்வாறு செயற்படுகிறது ? டிபிராயிலின் கருத்துப்படி அதன் உந்தம் அதிகமானல் அலைநீளம் குறைய வேண்டும், பொதுவாக

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

அல்லது

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m\,(KE)}}$$

எலெக்ட்ரான் புரோட்டான் அமைப்பு ஒன்றுக்கு இயக்க ஆற்றல், நிலை ஆற்றல் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகை ஒரு மாறிலியாகும், அவ்வாறாயின்

$KE = W - U$ எனவே

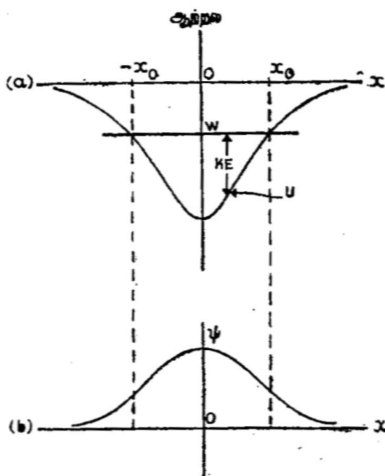
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m\,(W - U)}}$$

ஹைடிரஜன் அணுவுக்கு

$$U = \frac{-e^2}{r}$$

எனவே, எலெக்ட்ரான் அலைநீளம்

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m\,(W + e^2/r)}}$$



படம் 13-2

(*a*) ஹைடிரஜன் அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரானுடையதையொத்த நிலையாற்றல் குறிக்கப்பட்ட வரைபடம். (*b*) அதற்குரிய சிறும ஆற்றல் எலெக்ட்ரான் அலை.

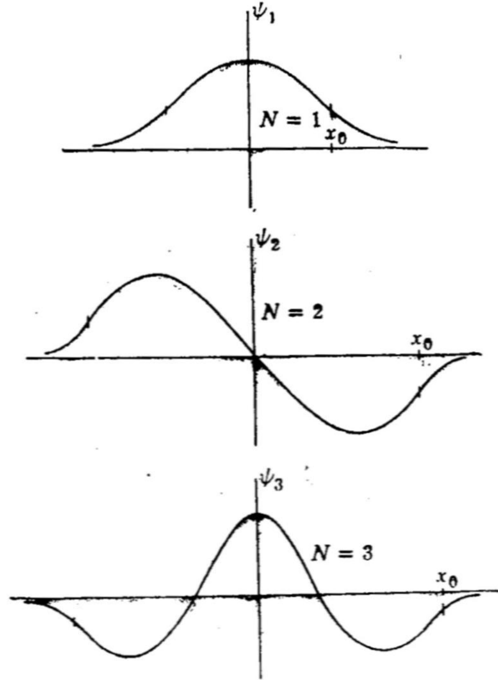
இவ்வாறாக, விசை ஒன்று செயற்படக்கூடிய ஒரு துகளைப் பற்றிய

பொதுவான நிகழ்ச்சியில் தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டிருக்கும் அலைநீளத்தையுடைய அலையத்தைப் பெறுகிறோம். அத்தகைய தொரு அலையை அளவியல் முறையில் அமைப்பதற்குப் பயன்படும் சமன்பாடு ஒன்றை 1925-ல் E. ஷ்ரோடிஞ்சர் (E. Shrodinger) என்பவர் எடுத்துரைத்தார். நீள அலை நீளப் (குறைந்த KE) பகுதியில் x அச்சை நோக்கிச் சிறிது சிறிதாக வளையக்கூடிய ஷ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாடு தருகிறது. அதிக KE-க்கு அந்த அலை x அச்சை நோக்கி விரைவில் வளைகிறது. KE-ன் மதிப்பு மாறும லிருக்கும்பொழுது அந்த அலை தனி சைன் அலையாக அமையும். எனினும், KE = $(W - U)$-ன் எதிரின மதிப்பிற்குரிய கணித வியல் நேர்வையும் கூட ஷ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாடு ஆராய்கிறது. (முது கொள்கைப்படி இது முடியாததொன்றாகும்). இத்தகைய நேர்வில் அலையம் x-ஐ விட்டு விலகுகிறது.

படம் 13-2a எலெக்ட்ரான்-புரோட்டான் நிலைஆற்றல் அல்லது ஒரு பெரிய அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களுள் ஒரு ஒரு எலெக்ட்ரானின் நிலையாற்றலையொத்த U-ன் மதிப்புக்கள் குறிக்கப்பட்ட வரைபடத்தைக் காட்டுகிறது. மொத்த ஆற்றல் W, எதிரினமாக இருப்பின் எலெக்ட்ரான் புரோட்டானுடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த நிலையாற்றல் படத்தில் (Potential diagram) எதிரின ஆற்றல் W ஒரு கிடைக்கோடாகக் குறிக்கப் பட்டது. எனவே, இக்கோட்டிலிருந்து வரைகோட்டிற்குள்ள செங்குத்துத் தொலைவு $W - U$ அல்லது KE-ஐக் குறிக்கும், $x = x_0$ என்னுமிடத்தில் KE சுழியாவதைக் காணலாம். $x = 0$ நிலையை எலெக்ட்ரான் நெருங்கும்போது அதன் இயக்க ஆற்றல் அதிகமாகிறது. முது கொள்கைப்படி $x > x_0$ பகுதி விலக்கப் பட்ட பகுதியாகும். இப் பகுதியில் $(W - U)$ அல்லது KE எதிரின மாக இருக்கும். அதற்குரிய அலையத்தைப் படம் 13-26 காட்டு கிறது. $x = x_0$ நிலையில் வளைவு மாறுவதையும் முது கொள்கைப் படி விலக்கப்பட்ட $x > x_0$ பகுதியில் எலெக்ட்ரானைக் காண்பதற் கான நிகழ்திறன் சிறிதளவு இருப்பதையும் காணலாம்.

W-ன் மதிப்பு (படம் 13-2a-ல் கிடைக்கோடு) சற்று அதிக மாக இருக்குமேயாயின், அதற்குரிய அலையும் அதிகமான வளை வைக் கொண்டிருக்கும். அவ்வாறாயின் W-ன் சில வரையறுக்கப் பட்ட மதிப்புக்கள், ∞-ன் பெருமதிப்புக்களுக்குச் சுழியாகக்கூடிய, நமக்குத் தேவையான நிலை அலைகளைக் கொடுக்கும். படம் 13-3 நாம் பெறக்கூடிய சிறும ஆற்றலுக்குரிய மூன்று நிலை அலைகளைக் குறிக்கிறது. அவை ஒவ்வொன்றும் W_1, W_2, W_3 என்ற வெவ் வேறு ஆற்றல்களுக்குரியவை. புரோட்டான்புலம் ஒன்றில்

சிக்குண்ட எலெக்ட்ரானின் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்டங்களை ஷ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டிலிருந்து பெறலாம். மேல்நிலை நுண்கணித முறையைப் பயன்படுத்தி கிடைக்கப்பெறும் அந்த ஆற்றல் மட்டங்களை



படம் 13-3

படம் 13-2a-ல் காட்டப்பட்டுள்ள நிலை ஆற்றலுக்குரிய மூன்று சிறும ஆற்றல் அலையங்கள்.

ஹைடிரஜன் ஆற்றல் மட்டங்கள்

$$W_N = -\left(\frac{2\pi^3 me^4}{h^2}\right)\frac{1}{N^2} \qquad (13\ 3)$$

என்ற தொடர்பு அளிக்கிறது. N என்பது சுழியைவிடப் பெரிய ஏதோவொரு முழு எண். இரு மின்னூட்டங்களுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு முடிவிலியாகும்பொழுது நிலையாற்றல் சுழியாகும் என்னும் மரபின் பயனாய் நிலையாற்றல்கள் யாவும் எதிரினமாயுள்ளன. இரு காரணங்களுக்காக ஹைடிரஜன் அணு எலெக்ட்ரான் அலையங்கள் படம் 13-3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவற்றினின்றும் சற்று மாறுபட்டுள்ளன. அவை முப்பரிமாணமுடை

யவையாயிருக்கவேண்டும். $U(r)$-ன் வடிவமும் படம் 13-2-லிருந்தும் சற்று மாறுபட்டிருக்கவேண்டும். படம் 13-4 ஹைடிரஜன் அணுவை நாம் காணமுடியுமாயின் அது எவ்வாறு தோற்றமளிக்கும் என்பதைக் காட்டுவதற்கான ஒரு முயற்சியாகும். இப் படத்தில் எலெக்ட்ரான் மின்னூட்ட அடர்த்தி அல்லது அலை வீச்சின் இருமடி காட்டப்பட்டுள்ளது. ஓரிடத்தில் ஒரு துகளைக் காண்பதற்கான நிகழ்திறன் என்பது அதன் அலைவீச்சின் இருமடி என்பதை நினைவிலிருத்திக் கொள்ளவேண்டும். படம் 13-4-ல் உள்ள தோற்றங்கள் எலெக்ட்ரான்களை முகில்களாகக் காட்டுகின்றன. அவற்றின் அடர்த்தி துகள் அலையின் செறிவுக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது. அத்தோற்றம் புகைமூட்டமொன்றின் தோற்றத்தைப் போன்றுள்ளது. படம் 13-4-ல் $N = 2$, $N = 3$ ஆகியவற்றிற்கான தோற்றங்கள் லிதியம் முதல் சோடியம் ஈறாக உள்ள அணுக்களின் புற எலெக்ட்ரான்களுக்குப் பெரிதும் ஒத்துள்ளன.

சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்தம் (Orbital angular momentum)

முது கொள்கைப்படி குறிப்பிட்ட ஆற்றலையுடைய ஒருகோள் பாதை 0 முதல் mvr வரையிலான எந்தக் கோண உந்தத்தையும் பெற்றிருக்கலாம். v என்பது பாதை வழியேயான திசைவேகம், r என்பது குறிப்பிட்ட ஆற்றலையுடைய வட்டப்பாதை (பார்க்க சமன் 5-1). எனினும், பருப்பொருளின் குவாண்டம் தன்மையின் பயனுய் ஒரு துகளின் ஆற்றலானது எவ்வாறு ஒருசில வரையறுக்கப்பட்ட மதிப்புக்களை மட்டுமே பெற்றிருக்க முடியுமோ அவ்வாறே அதன் கோண உந்தமும் ஒருசில வரையறுக்கப்பட்ட மதிப்புக்களை மட்டுமே பெற்றிருக்க முடியும். கோண உந்தத்தின் வரையறுக்கப்பட்ட மதிப்புக்களைப் பிழையின்றி பெறுவதற்கு ஷ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாடும் மேம்பட்ட கணிதமும் தேவைப்படுகின்றன. எனினும், வரையறுக்கப்பட்ட மதிப்புக்களைப் பற்றிய ஒருசில கருத்துக்களைப் பின்வரும் முறையில் பெறலாம். r-ன் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பிற்கு எலெக்ட்ரானுனது அதன் சுற்றுப் பாதையின் பரிதியான $2\pi r$ தொலைவைக் கடக்கும்பொழுது அதன் நிலை அலையை ஆராய்வோம். இப்பாதையின் வழியே அலையானது முழு எண் அலைநீளங்களை மட்டுமே கொண்டிருக்க முடியும். l என்பது அந்த முழு எண்ணைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். எனவே,

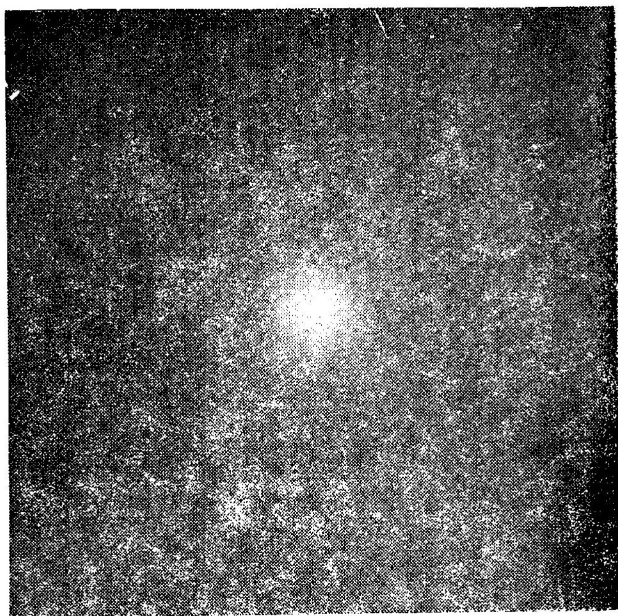
$$2\pi r = l\lambda_l$$

ஆனால் $$\lambda_l = \frac{h}{P_l}$$

அல்லது $$2\pi r = l\frac{h}{P_l}$$

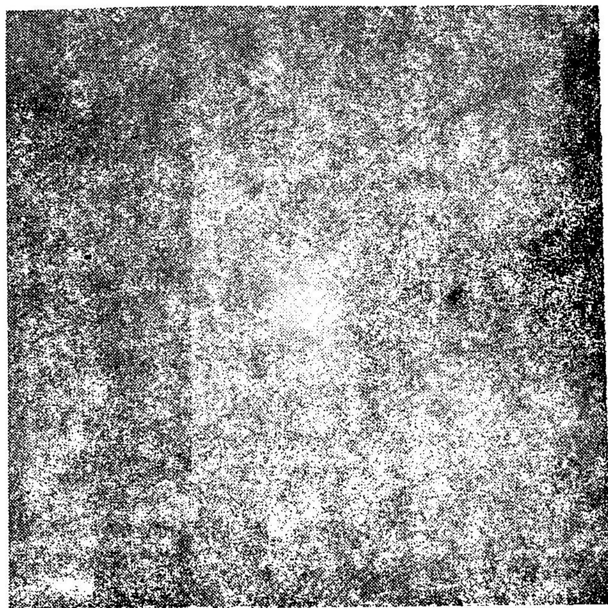
படம் 13-4

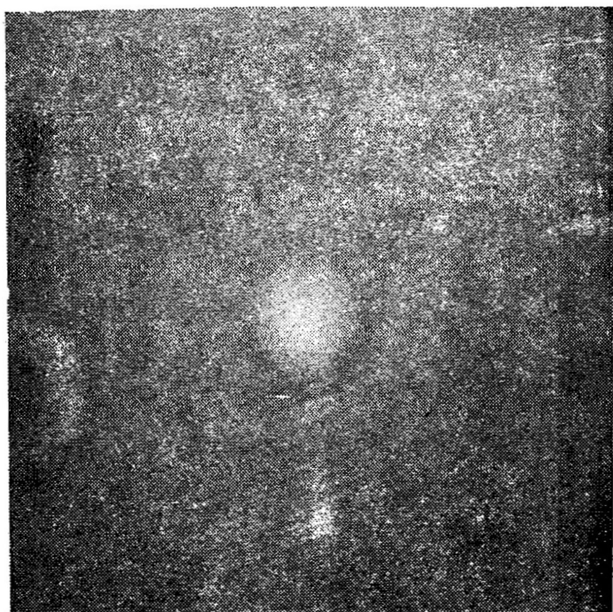
ஹைடிரஜன் அணுவுக்கான மிகக் குறைந்த ஆற்றலையுடைய எலெக்ட்ரானின் அலைச்செறிவுகள் (அல்லது மின்னூட்ட அடர்த்திகள்). இப்படங்கள் முப்பரிமாண ஷ்ரோடிஞ்சர் அலைச் செறிவுகளின் ஒரு தளத்தின்மீதான வீழ்ச்சிகள். $N = 3$ என்ற மதிப்பு வரை N, l, m_l ஆகியவற்றின் ஒவ்வொரு மதிப்பிற்கும் பக்க, உச்சித் தோற்றங்கள் காட்டப்பட்டுள்ளன.



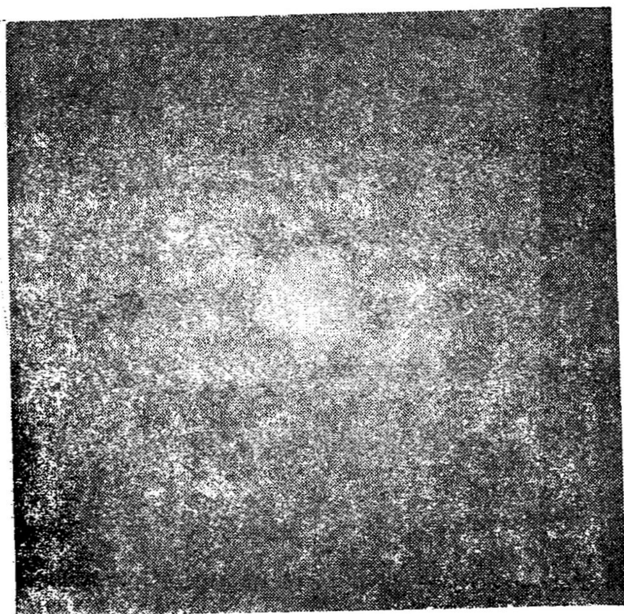
$\overset{\longleftrightarrow}{1\ \text{Å}}$

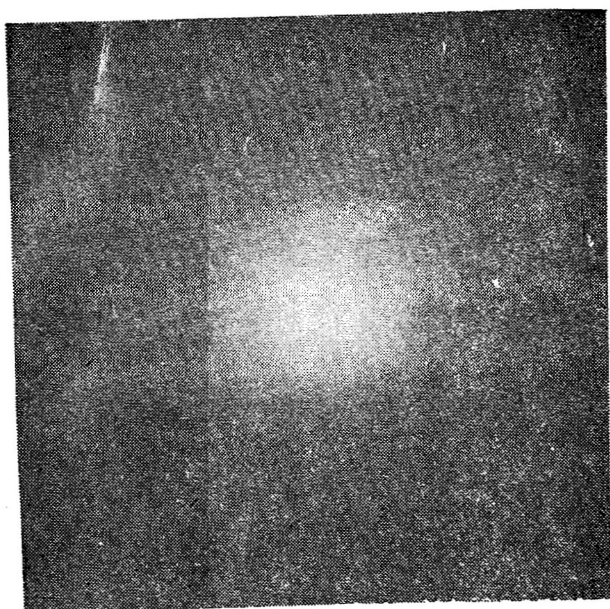
$N = 1,\ l = 0,\ m = 0$





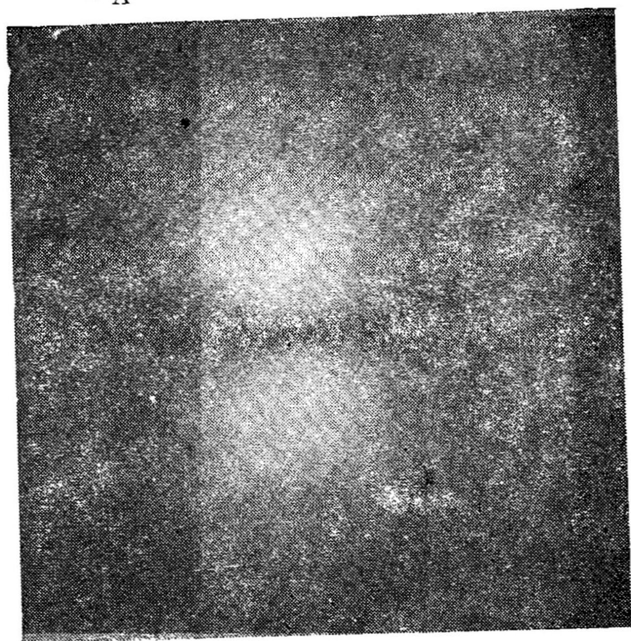
$N = 2,\ l = 0,\ m_l = 0$

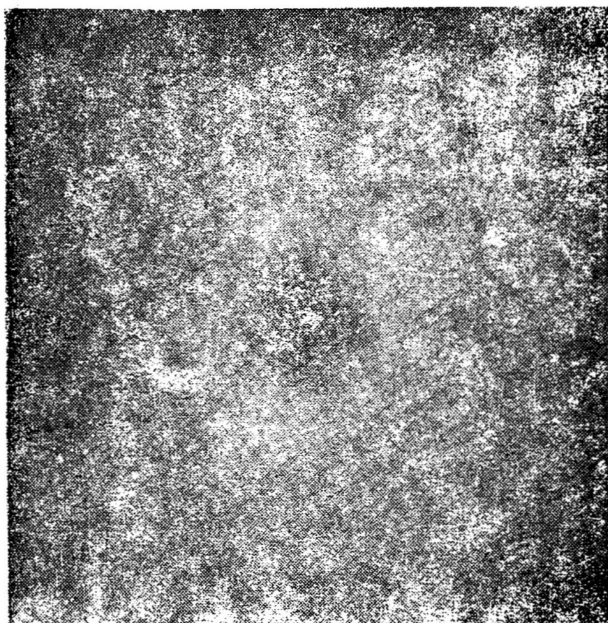




$|\longleftarrow\longrightarrow|$
1 Å

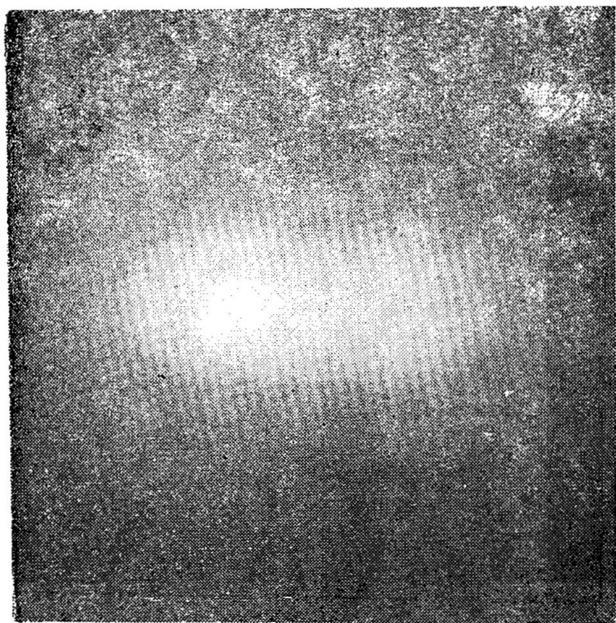
$N = 2,\ l = 1,\ m = 0$

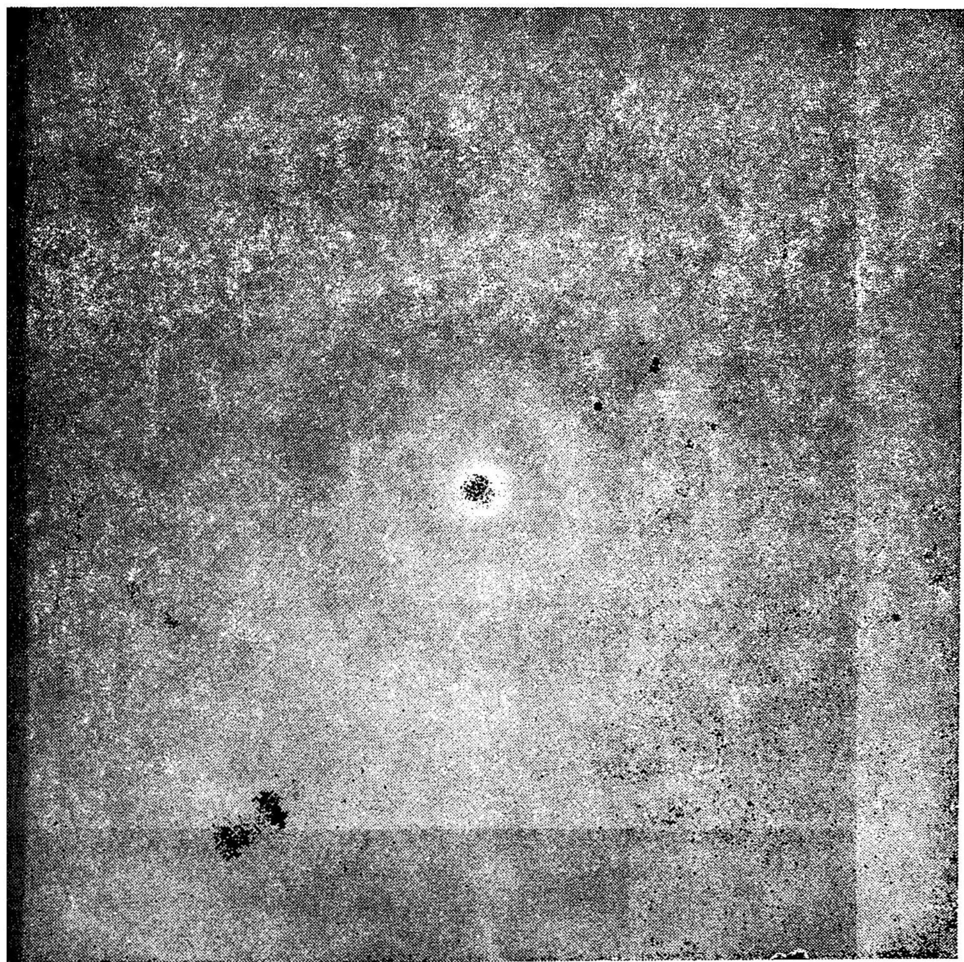




$N = 2,\ l = 1,\ m = \pm 1$

1 Å





$N = 3,\ l = 0,\ m_l = 0$

$|\longleftarrow\longrightarrow|$

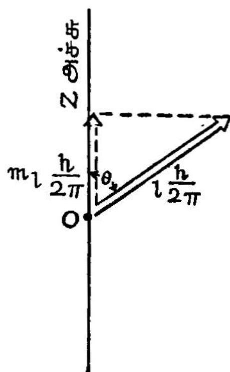
1 Å

அதாவது கோண உந்தம்

$$rP_l = l\frac{h}{2\pi}$$

இது மிகவும் பொதுவான ஒரு முடிவு. சுற்றுப் பாதைக் கோண உந்தமானது $lh/2\pi$ என்ற மதிப்புக்களை மட்டுமே பெற்றிருக்க முடியும்; l என்பது சுழியை உள்ளிட்ட, நேர்க்குறியையுடைய ஏதோ ஒரு முழு எண் ஆகும். l பெற்றிருக்கக்கூடிய பெரும மதிப்பானது $l = 2\pi r/\lambda_l$ பெற்றிருக்கக்கூடிய சிறும மதிப்பின் மூலமாகவோ மதிப்பிடப்படுகிறது. λ_l-ன் மதிப்பு அலைபெற்றிருக்கக்கூடிய பெரும வளைவைப் பொறுத்தது; இந்த வளைவின் மதிப்பு படம் 13-3-ல் காட்டியுள்ளவாறு இயக்க ஆற்றலின் மதிப்பைப் பொறுத்ததாகும். நம் கருத்திற்கேற்ப λ_l அலைநீளம் கொண்ட இந்த 'வட்ட அலைகள்' (Circular waves) படம் 13-3-ல் உள்ள வாறு அமைந்த 'ஆர அலை' (Radial wave) களைவிட அதிக அலைவு களைப் பெற்றிருக்க முடியாது. எனவே l பெற்றிருக்கக்கூடிய பெரும மதிப்பு $(N - 1)$ ஆகும்.

இதுவரை, கோண உந்த வெக்டரின் எண் மதிப்பை மட்டுமே நாம் ஆராய்ந்தோம். ஆனால் அதன் எண்மதிப்பு மட்டுமின்றி திசையும் வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. இத் திசையானது m_l என்ற மற்றொரு குவாண்டம் எண்ணால் குறிக்கப்படுகிறது; அதன் மதிப்பு $-l$ முதல் $+l$ ஈறாக உள்ள எந்த முழு எண்ணாகவும் இருக்கலாம். $m_lh/2\pi$ என்பது கோண உந்த வெக்டரின் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலான (பொதுவாக z அச்சு) ஆக்கக்கூறின் மதிப்பு என்பதையே m_l குறிக்கிறது. முதுகொள்கைப்படி



படம் 13-5

குவாண்டப்படுத்தப்பட்ட கோண உந்த வெக்டரின் திசை. l, m_l என்ற குவாண்டம் எண்களின் அடிப்படையில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

கோண உந்த வெக்டர் படம் 13-5-ல் உள்ளதுபோல் தோன்றும். படத்தில் θ என்பது கோண உந்த வெக்டருக்கும் z அச்சுக்

கும் இடையேயான கோணமாகும். குவாண்டப்படுத்தப்பட்ட கோணம் θ

$$\cos\theta = \frac{m_l \frac{h}{2\pi}}{l \frac{h}{2\pi}} = \frac{m_l}{l}$$

என்ற தொடர்பிலிருந்து பெறப்படுகிறது.

ஹைடிரஜன் அணுவில் முப்பரிமாண எலெக்ட்ரான் அலையம் (அல்லது 'சுற்றுப்பாதை') ஒன்றை முழுவதுமாகக் குறிப்பிடுவதற்கு N, l, m_l ஆகிய மூன்று குவாண்டம் எண்களும் தேவைப்படுகின்றன. $N = 3$ என்ற மதிப்பு வரையில் l, m_l ஆகியவை பெற்றிருக்கக்கூடிய வெவ்வேறு மதிப்புக்களுக்குரிய எலெக்ட்ரான் மேகங்களைப் படம் 13-4 காட்டுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு

$N = 2$ என்ற மதிப்புக்கு எத்தனை வகை எலெக்ட்ரான் அலையங்கள் உள்ளன?

$N = 2$ என்ற மதிப்புக்கு l இரண்டு மதிப்புக்களை ($l = 0$, $l = 1$) பெற முடியும். $l = 0$ ஆகும்பொழுது m_l சுழி மதிப்பை மட்டுமே பெறும். $l = 1$ ஆகும்பொழுது m_l-க்கு மூன்று மதிப்புக்கள் உண்டு (-1, 0, $+1$). எனவே, $N = 2$ என்ற மதிப்புக்கு $l = 1$-க்குரிய மூன்று அலையங்களோடு $l = 0$-க்குரிய ஒரு அலையமும் சேர்ந்து மொத்தம் நான்கு அலையங்கள் அல்லது 'சுற்றுப்பாதைகள்' இருக்கின்றன.

13-3 ஹைடிரஜன் அலைமாலை (Hydrogen spectrum)

எண்ணூல் 'விஞ்ஞானம்' ('Science' of Numerology)

ஆற்றல் அழிவின்மைத் தத்துவத்தின்படி (பார்க்க சமன் 13-2) ஹைடிரஜன் அலைமாலையில் உள்ள எல்லா வரிகளும்

$$hf = W_{N'} - W_N \quad (N' > N)$$

என்ற தொடர்புக்கு உட்படவேண்டும். சமன் 13-3-ன்படி

$$W_{N'} - W_N = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}\left(\frac{1}{N^2} - \frac{1}{N'^2}\right)$$

எனவே $$hf = 13.6\left(\frac{1}{N^2} - \frac{1}{N^2}\right)\text{ev} \quad (13\text{-}4)$$

m, e, h ஆகியவற்றின் தெரிந்த மதிப்புக்களிலிருந்து இதில் கண்ட

13.6 ev மதிப்பு பெறப்பட்டது.

மாதிரிக் கணக்கு

$N = 1$ மதிப்புக்குப் பெறக்கூடிய ஒளியின் பெரும அலைநீளம் என்ன ? அது கண்ணுக்குப் புலப்படுமா ?

சமன் 13-4-ன்படி

$$hf = 13.6\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{N'^2}\right)$$

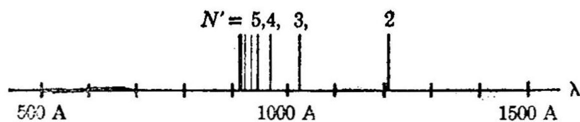
$N' = 2$ எனக் கொள்வதன் மூலம் f-ன் சிறும அல்லது λ-ன் பெரும மதிப்பைப் பெறலாம்.

$$hf = 13.6\,(1 - \tfrac{1}{4}) = 10.2 \text{ ev}$$

$$\lambda = \frac{12,345}{10.2} = 1210 \text{ A}$$

4000 முதல் 7500 A வரையுள்ள அலைநீளப் பகுதியே கண்ணுக்குப் புலப்படுமாதலால் இந்த வரியை நம் கண்ணால் காணமுடியாது.

$N = 1$ மதிப்புக்குரிய கோடுகள் யாவும் படம் 13-6-ல் காட்டியவாறுள்ள ஒரு அலைமாலையை அமைக்கும். லைமன் வரிசை



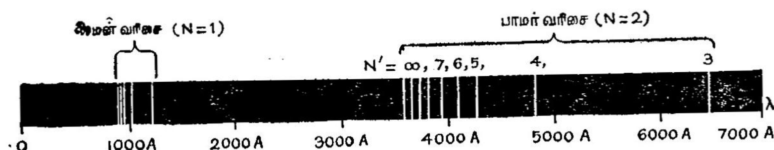
படம் 13-6

ஹைடிரஜன் வெளியீட்டு அலைமாலையிலுள்ள கோடுகளின் லைமன் வரிசை (Lyman series)

எனப்படும் இந்த நிறமாலை புற ஊதா அலைமாலையியலின் (ultra violet spectroscopy) மூலமாக 1906-ல் கண்டுபிடிக்கப் பட்டது. இந்த அலைமாலையானது $N' = \infty$ மதிப்பிற்குரிய 908 A அலைநீளத்தில் குவியக்கூடிய ஒரு வரம்பிலா வரிசை (infinite series) என்பதைக் காணலாம். சமன் 13-3-ன்படி வரம்பிலா குவாண்டம் எண் சுழி ஆற்றலையோ அல்லது அயனியாக்கப்பட்ட ஹைடிரஜன் அணுவையோ (புரோட்டானும் அதனின்றும் மிகத் தொலைவி லுள்ள கட்டற்ற எலெக்ட்ரானும் குறிக்கிறது. எனவே அடிநிலை (Grounds tate) யிலுள்ள ஒரு ஹைடிரஜன் அணுவுக்கு 13-6 ev ஆற்றல் கொடுக்கப்படுமாயின் அதன் எலெக்ட்ரானனது புரோட் டானின் தளையிலிருந்து தப்பிச் செல்லப் போதுமான அளவுக்கு ஆற்றலைப் பெறும். 13-6 வோல்ட் என்ற இக் குறிப்பிட்ட மதிப்பு

ஹைடிரஜனின் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் (ionization potential) எனப்படுகிறது.

$N = 2$ மதிப்புக்கு N'-ன் சிறும மதிப்புக்கள் ($N' = 3, 4, 5, 6$) கண்ணுறு வரிகளைத் தருகின்றன (படம் 13-7). 1885-ல்



படம் 13-7

$\lambda = 7000$ A வரையில் ஹைடிரஜன் அலைமாலையில் இருக்கக்கூடிய எல்லா வரிசைகளும்.

ஹைடிரஜன் நிறமாலையின் இந்த நான்கு வரிகள் மட்டுமே அறியப் பட்டிருந்தன. அவ்வாண்டில் ஜோஹன் பாமர் (Johann Balmer) என்ற ஸ்விட்சர்லாந்து நாட்டு பள்ளியாசிரியர் அறிவியலுக்கு ஒவ்வாத ஒத்திகை—பிழை முறையில் (trial and error method) இந்த நான்கு வரிகளுக்குமிடையே

$$f = C\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{N'^2}\right)$$

என்ற எண்ணியல் தொடர்பைக் கண்டுபிடித்தார்; C என்பது 3.28×10^{15} சுற்றுக்கள்/வி மதிப்புடைய ஒரு மாறிலி. அத்துடன் நில்லாது அவர் கட்புலனுகும் அலைமாலையின் கீழ்க்கோடியில் low end) $N' = 7$ மதிப்புக்குரிய 3969.65 A அலைநீளங்களைக் கொண்ட ஒரு வரியும் இருக்கவேண்டும் என்றும் பிழையற முன்னுரைத்தார். அதன் பின்னரே இந்த வரியும் $N' > 7$ மதிப் பிற்குரிய மற்ற வரிகளும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. மேலும், புற ஊதா, புறச்சிவப்புப் பகுதிகளில் இருக்கக்கூடிய வரிகளைக் குறிக்கும் வண்ணம் மேற்கூறப்பட்ட அவரது தொடர்பில் $1/2^2$-க்குப் பதில் முறையே $1/1^2$, $1/3^2$-ஐப் பதிலீடு செய்யலா மெனவும் பாமர் ஊகித்தார். 1906, 1908ஆம் ஆண்டுகளில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இவ்விரு அலைமாலைகளும் முறையே லைமன் (Lyman) பாஷன் (Paschen) வரிசைகள் என அழைக்கப்படு கின்றன. இவ்வாருக, சமன் 13.4-ன் எண்ணியல் வடிவமானது எலெக்ட்ரானின் நிறை, மின்னூட்டம் ஆகியவை போன்ற அடிப்படைப் பௌதிக மாறிலிகளைக் கொண்டு அதனை வருவிக்கக் கூடிய கொள்கையைக் கண்டுபிடிக்கக்கூடிய பேரறிஞரின் வரவை எதிர்நோக்கி 20ஆம் நூற்றுண்டின் தொடக்கத்தில் ஏங்கி நின்றது. அதனை முதன் முதலில் 1913ஆம் ஆண்டில் போஹ்ர் என்பவர் நிறைவேற்றினுர்.

13-4 போஹ்ர் படிவம் (Bohr Model)

பழையன நீக்கிப் புதியன புகுதல்

குவாண்டம் விசையியலின் விரைவான வளர்ச்சிக்குப் பின்னர் 1926ஆம் ஆண்டளவில் பௌதிகத்தில் பெரும் முன்னேற்றம் ஏற்பட்டது. எனினும் 13 ஆண்டுகட்கு முன்னரே ஹைடிரஜன் அலைமாலை முழுவதையும் பிழையற விளக்கக்கூடியதும் நிலையான அணு அமைப்புக்கான அணுமாதிரிப் படிவம் ஒன்றை அளிக்கக் கூடியதுமான கொள்கை ஒன்றை நீல்ஸ் போஹ்ர் (Niels Bohr) எடுத்துரைத்தார். அவர் பாமர் வாய்பாட்டையும் ஐன்ஸ்டீன், பிளாங்க் ஆகியோரின் ஃபோட்டான் கருத்தையும் ஒருங்கிணைத் தார். ஹைடிரஜன் அணுவின் வரையறுக்கப்பட்ட குறிப்பிட்ட சில ஆற்றல் மட்டங்கள் இருக்கவேண்டுமென்றும் ஃபோட்டான் கொள்கையின்படி அவற்றின் ஆற்றல் வேறுபாடுகள் hf ஆற்றல் களையுடைய ஃபோட்டான்களை அளிக்கவேண்டுமென்றும் அவர் விளக்கம் கூறினர். பாமர் வாய்பாட்டை பிளாங்க் மாறிலியால் பெருக்குவோமாயின்

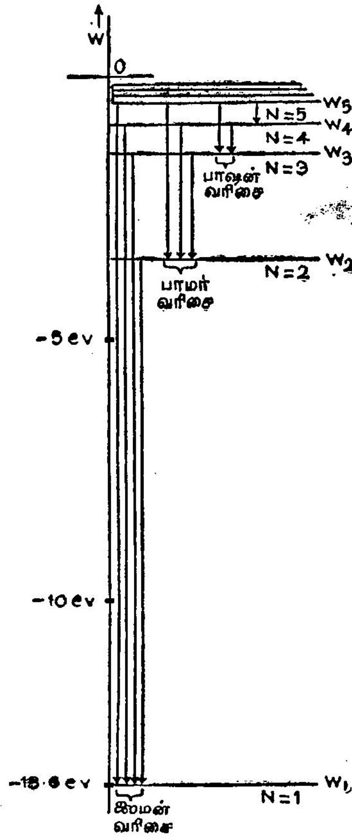
$$hf = 13.6\left(\frac{1}{N^2} - \frac{1}{N'^2}\right) \text{ ev}$$

என்ற தொடர்பைப் பெறுகிறோம். எனவே, ஹைடிரஜன் ஆற்றல் மட்டங்களை $W_N = -13.6\,(1/N^2)$ ev-க்கள் என்னும் தொடர் பால் பெறலாம் என போஹ்ர் உணர்ந்தார். இந்த ஆற்றல் மட்டங்களையும் அவற்றிற்கிடையே நிகழும் குவாண்டம் தாவல் கள் (Quantum jumps) அல்லது அலைமாலை வரிகளையும் படம் 13-8-ல் காணலாம். அடுத்து ஆற்றல் மட்டங்களை கொள்கை வாயிலாக மட்டும் எவ்வாறு பெறலாம் என போஹ்ர் ஆராய்ந் தார். அவர் எலெக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதைகளை முதுகொள்கைப் படி அமைந்த வட்ட வடிவகோள் பாதைகளைப் போன்று கருதிய தோடு குறிப்பிட்ட சில ஆற்றல்கள் அல்லது ஆரங்களைக் கொண்ட சுற்றுப் பாதைகளை மட்டும் அனுமதிக்கக்கூடிய ஒரு விதியையும் நாடினர். அதன் விளைவாகக் கோண உந்தம்

$$mvR = N\frac{h}{2\pi} \qquad (13\text{-}5)$$

என்ற விதியைக் கண்டுபிடித்தார். போஹ்ரின் கொள்கையானது ஹைடிரஜன் அணுவைப்பற்றிய நமது தற்காலத்து அறிவினின்றும் இரு வகைகளில் வேறுபடுவதைக் காணலாம். முதலாவதாக, எலெக்ட்ரான்கள் முதுகொள்கைப்படி அமைந்த சுற்றுப்பாதை களில் வலம் வருகின்றன என்ற கருத்து இப்போது பொருந்துவ தில்லை. மேலும் எலெக்ட்ரானை ஒரு அலையாகக் குறிப்பிட

வேண்டும். இரண்டாவதாக கோண உந்தமானது $N(h/2\pi)$ என்பதற்கு மாறாக $l(h/2\pi)$-ஆக இருக்கிறது ; இம்மதிப்பு போஹ்ர் மதிப்பைவிட எப்போதும் குறைவாக உள்ளது. இவ்வாறாக, போஹ்ர் கொள்கையானது சரியான ஹைடிரஜன் ஆற்றல் மட்டங்களை அளித்ததை எதிர்பாராத ஒரு நற்பேறு என்றே கருதவேண்டும்.



படம் 13-8

ஹைடிரஜன் அணுவின் ஐந்து சிறும ஆற்று மட்டங்கள் சிவப்புக் கோடுகளால் காட்டப்பட்டுள்ளன. அவற்றிற்கிடையே விளையும் குவாண்டம் தாவல்கள் அல்லது அலைமாலைக் கோடுகள் அம்புகளின் நீளத்திற்கு நேர் விகிதத்திலமைந்த அடுக்கங்களைப் பெற்றுள்ளன.

அடுத்து, Z_e மின்னூட்டங்கொண்ட ஒரு அணுக்கருவின் புலத்தில் அமைந்த எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் மட்டங்களை

போஹ்ர் எவ்வாறு பெற்ருர் எனக் காண்போம். போஹ்ர் கொள்கையின்படி (சமன் 13-5) N–ஆவது சுற்றுப்பாதையின் ஆரம்

$$R_N = N\frac{h}{2\pi mv} \qquad (13\text{-}6)$$

ஆகும். நிலேமின் விசை மையநோக்கு விசையை அளிப்பதால்

$$\frac{mv^2}{R_N} = \frac{Ze^2}{R_N^2}$$

அல்லது $mv^2 = \frac{Ze^2}{R_N} = -U$ (நிலேயாற்றல்) $\qquad (13\text{-}7)$

மேலும் $v^2 = \frac{Ze^2}{mR_N}$

இச் சமன்பாட்டில் சமன் 13-6-ஐப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$v^2 = \frac{Ze^2}{m\left(\frac{Nh}{2\pi mv}\right)}$$

அல்லது $v = \frac{2\pi Ze^2}{Nh} \qquad (13\text{-}8)$

ஆற்றல் மட்டம்

$$W_N = \text{KE} + U$$

என வரையறுக்கப்படுகிறது. சமன் 13-7-ன்படி $U = mv^2$. எனவே

$$W_N = \tfrac{1}{2}mv^2 - mv^2 = -\tfrac{1}{2}mv^2 \qquad (13\text{-}9)$$

சமன் 13-8-ன் இரு மடியை 13-9-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின் நமக்குத் தேவையான இறுதி முடிவைப் பெறுகிறேம். அதாவது ஒரு எலெக்ட்ரான், Ze மின்னூட்டங்கொண்ட அணுக்கரு ஆகியவற்றிற்கான ஆற்றல் மட்டங்கள்

$$W_N = -\frac{2\pi^2 mZ^2e^4}{h^2}\frac{1}{N^2} = -13\text{-}6\left(\frac{Z^2}{N^2}\right)\text{ev} \qquad (13\text{-}10)$$

தற்கால குவாண்டம் விசையியல் கொள்கைப்படி பெறப்படும் விடையும் இதுவேயாகும் (பார்க்க சமன் 13-3). போஹ்ரின் அணு மாதிரிப் படிவம் அணுக்களின் அளவைப்பற்றியும் எளிய கருத்தொன்றை அளிக்கிறது. சமன் 13-8-ஐச் சமன் 13-6-ல் பதிலீடு செய்வதன்மூலம் R_N-க்கான தொடர்பைப் பெறலாம்.

அதாவது

போஹ்ர் அணுவின் ஆரம்

$$R_N = N^2 \frac{h^2}{4\pi Z^2 me^2} \qquad (13\text{-}11)$$

ஹைடிரஜனின் அடிநிலைக்கு $(N = 1,\ Z = 1)$ $R_1 = h^2/4\pi^2 me^2 = 0.53\ A$. இம் மதிப்பு குவாண்டம் விசையியலின் அடிப்படையில் கூறப்பட்ட எலெக்ட்ரான் மேகத்தின் அளவோடு மிகவும் ஒத்திருக்கிறது (படம் 13–4). போஹ்ர் வாய்பாட்டின்படி $N = 2$ நிலைக்குரியதைப்போல் நான்கு மடங்காகும். இந்த முடிவும் படம் 13-4-உடன் பெரிதும் ஒத்திருக்கிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 1

அடிநிலையிலுள்ள போஹ்ர் அணுவில் எலெக்ட்ரானின் திசைவேகத்தை ஒளிவேகத்தின் அடிப்படையில் கணக்கிடு.

சமன் 13-8-ஐ C-ஆல் வகுத்து $N = 1$ எனப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\frac{v}{c} = \frac{2\pi Ze^2}{hc}$$

ஹைடிரஜன் அணுவுக்கு $Z = 1$, $v/c = 2\pi e^2/hc = 1/137$.

மாதிரிக் கணக்கு 2

He^+-ன் அலைமாலைக்கும் ஹைடிரஜன் அலைமாலைக்குமுள்ள தொடர்பு என்ன :

ஒற்றை அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட ஹீலியம் (He^+) ஒற்றை எலெக்ட்ரானுடன் கூடிய ஹீலியம் அணுக்கருவை $(Z = 2)$க் கொண்டுள்ளது. சமன் 13-10-ல் $Z^2 = 4$ எனப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$W_N = -4 \times 13.6 \left(\frac{1}{N^2}\right) \text{ev}$$

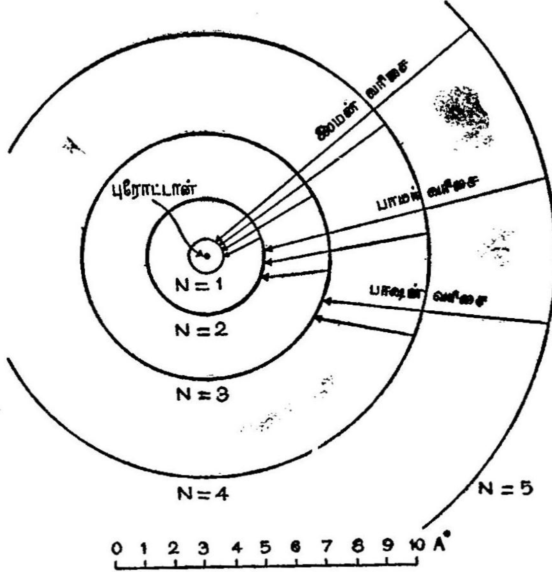
எனவே He^+ வெளிவிடும் ஃபோட்டான்கள்

$$hf = 4 \times 13.6 \left(\frac{1}{N^2} - \frac{1}{N'^2}\right) \text{ev}$$

ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும்; இது ஹைடிரஜனுக்கு உள்ளதைப் போல் சரியாக நான்கு மடங்காகும். இவ்வாறே, ஹைடிரஜன் அலைமாலையிலுள்ள வரிகளின் அடுக்கங்களை $Z^2 = 9$-ஆல் பெருக்குவதன் மூலம் Li^{++} அலைமாலையைப் பெறலாம்.

எலெக்ட்ரான் ஒன்று புறச்சுற்றுப்பாதை ஒன்றிலிருந்து அகச் சுற்றுப்பாதை ஒன்றுக்குத் திடீரெனத் 'தாவும்' பொழுது அணுக்

கதிர்வீச்சு நிகழ்கிறதென போஹ்ர் கற்பனை செய்தார். படம் 13-9, வரையப்பட்ட, ஹைடிரஜனின் முதல் ஐந்து போஹ்ர் சுற்றுப் பாதைகளைக் காட்டுகிறது. அம்புக்குறிகள் ஹைடிரஜன் அலை மாலையில் லைமன் பாமர், பாஷன் வரிசைகளிலுள்ள வரிகளுக்குரிய எலெக்ட்ரான் தாவல்களைக் குறிக்கின்றன. படம் 13-8-ல் உள்ளவாறு இந்த அம்புகளின் நீளங்கள் அவற்றிற்குரிய ஃபோட்டான்களின் ஆற்றல்களுக்கு நேர்விகிதத்தில் இல்லை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.



படம் 13-9

அளவுத் திட்டப்படி வரையப்பட்ட, ஹைடிரஜனின் முதல் ஐந்து போஹ்ர் சுற்றுப்பாதைகளும் அவற்றிற்கிடையே நிகழக்கூடிய எலெக்ட்ரான் பெயர்ச்சிகளும் (Electron transitions)

போஹ்ர் மாதிரிப்படிவம் மிகவும் வெற்றியடைந்தது. அது அணுவின் அளவை மதிப்பிட்டது. அம்மதிப்புகள் சோதனைமுறை மதிப்புகளுடன் பெருமளவு ஒத்திருந்தன. அது ஹைடிரஜன் அலை மாலையிலுள்ள எல்லா வரிகளின் அலை நீளங்களுகளுக்குமான ஒரு தொடர்பையும் (பாமர் வாய்பாடு) அளிக்கிறது. அத்தொடர்பு சோதனைமுறை முடிவுகளுக்கு பெரிதும் ஒத்திருக்கிறது. போஹ்ர் மாதிரிப்படிவம் பாமர் வாய்பாட்டிலுள்ள மாறிலியின் எண் மதிப்புக்கு m, e, c, h ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் அமைந்த ஒரு தொடர்பையும் அளிக்கிறது. மேலும், நாம் கற்பனை செய்து

காணக்கூடிய அளவுக்கு அப் படிவம் உள்ளது. (அக் கருத்து சரியல்ல என்பதை இப்பொழுது நாம் அறிகிறோம்) அப் படிவம் அணுக்கதிர்வீச்சானது எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு பாதையிலிருந்து



படம் 13-10

நீல்ஸ் போஹ்ர் லாஸ் அலமாஸில் (Los Alamas) பனிச்சறுக்கு நடையிடுதல் (நன்றி: திருமதி லாரா ஃபெர்மி- Laura Fermi-மற்றும் சிகாகோ பல்கலைக் கழக அச்சகம்).

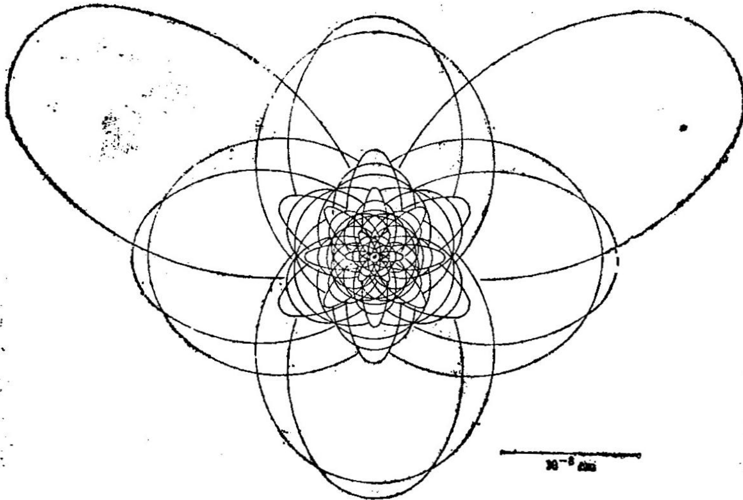
மற்றொன்றுக்கு இடம்பெயர்வதால் ஏற்படுகிறது என விளக்குகிறது. அக் கதிர்வீச்சுக்குரிய அலைமாலைவரிகள் இதுவரை அறியப்பட்டுள்ளனவா அல்லது இப்போதுள்ள கருவிகள் கண்டுணரக்கூடிய பகுதிக்கு அப்பாற்பட்டவையா என்பதைப்பற்றி அது பொருட்படுத்தவில்லை. போஹ்ர் படிவத்தின் மற்றொரு வெற்றி என்னவெனில் அது He^{+}, Li^{++}, Be^{+++} போன்றவற்றின் அலைமாலைகள் ஹைடிரஜன் அலைமாலையைப் போன்ற ஒரே அமைப்பைக் கொண்டிருக்கும் எனப் பிழையற முன்னுரைத்தது. சமன் 13-10-ன்படி அவற்றின் அலைமாலை வரிகளின் அடுக்கங்கள் ஹைடிரஜன் அடுக்கங்களைப்போல் Z^2 மடங்கு இருக்கும். இக் கருத்து சோதனை முடிவுகளுடனும் நவீன கொள்கையுடனும் பொருந்துகிறது. எனினும் போஹ்ர் படிவத்தின் ஒரு பெருங் குறை என்னவெனில் அதனால் அயனியாக்கப்பெறாத ஹீலியத்தின் (இரு எலெக்ட்ரான்கள் சூழப்பட்ட, $Z = 2$ உடைய அணுக்கரு) அலைமாலைக்கு விளக்கம் கூற முடியவில்லை. ஹீலியம் அணுவானது ஒன்றுக்கொன்று செயலெதிர் செயற்படும் மூன்று துகள்களைக் கொண்டு சிக்கல் நிறைந்ததாயிருப்பினும் குவாண்டம் விசையியலின் உதவியால் அதன் அலைமாலைக்கு விளக்கம் கூறமுடியும். நவீன கொள்கையையும் மின்னியல் கணிப்பான்களையும் (Electronic computors) பயன்படுத்தி ஹீலியம் அலைமாலை வரிகள்

மிகவும் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன. அந்த முடிவுகள் சோதனை வாயிலாகக் கிடைக்கப்பெற்ற முடிவுகளுடன் பெரிதும் பொருந்துகின்றன.

13–5 அணு அமைப்பு

> "பௌதிகத்தின் பெரும் பகுதிக்கும் வேதியியல் முழுமைக்கும் உரிய கணிதவியல் கொள்கைக்கு இன்றியமையாத அடிப்படைப் பௌதிக விதிகளும் [இப்பொழுது] முற்றிலுமாக அறியப்பட்டுள்ளன". P. M. டிராக் (1929)

பல எலெக்ட்ரான்களையுடைய ஒரு அணுவில் $N = 1$ கூட்டில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களும் $N = 2$ கூட்டில் 8 எலெக்ட்ரான்களும் $N = 3$ கூட்டில் 8 எலெக்ட்ரான்களும் $N = 4$ கூட்டில் 18 எலெக்ட்ரான்களும் மட்டுமே இருக்க முடியும் என போஹ்ர் கூறியுள்ளார். படம் 13-11-ல் போஹ்ரின் இக் கொள்கைப்படி அமைக்கப்பட்ட அணுக்களின் படங்களைக் காணலாம். ஒவ்வொரு கூட்டிலும் எத்தனை எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கவேண்டும் எனக் கூறும் இவ்விதிகள் வெவ்வேறு தனிமங்களின் வேதியியல் பண்பு களையும் அயனியாக்க மின்னழுத்தங்களையும் விளக்க உதவும் வகையில் போஹ்ரினல் 'மனப்போக்காக அமைக்கப்பட்டன.



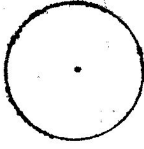
படம் 13-11

1923-ல் உருவான போஹ்ர் கொள்கைக்கேற்ப சில அணுக்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான் பாதைகளின் அளவுத்திட்டப் படங்கள்.
ரேடியம் அணுவைப்பற்றிய போஹ்ரின் படம்.

$N = 3$, $N = 4$ ஆகிய கூடுகளில் இருக்கக்கூடிய எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைப் பற்றிய போஹ்ரின் கருத்து சரியானதல்ல என்பதை நாம் விரைவில் காணலாம். ஒரு கொள்கையானது அணுவைப்பற்றிய போஹ்ரின் கொள்கையைப்போன்று மிக அதிகமான மனப்போக்கான (Orbitrary) எடுகோள்களை (Postulates)ச் சார்ந்திருக்கும்பொழுது பௌதிகர்கள் அதனைப் பற்றி ஐயுறத் தொடங்குகிறார்கள். இயற்கையானது எளிமையாக இருக்கவேண்டும் என்றும் எடுகோள்கள் அல்லது அடிப்படைத் தத்துவங்கள் குறைவாக இருப்பின் உண்மைக்கு மிக அருகில் இருப்பதாகவும் பெரும்பான்மையான பௌதிகர்களும் மெய்யுணர்விகளும் கருதுகிறார்கள். தற்காலத்தில் நாமறிந்தவரை மிகக் குறைந்த எடுகோள்களை அடிப்படையாகக் கொண்ட நவீன குவாண்டம் கொள்கையானது அணு அமைப்பு யாவற்றையும் வேதியியல் முழுவதையும் விளக்குகிறது. அணுக்களில் பல எலெக்ட்ரான்கள் இருப்பதால் வெளியிடத்தில் ஒரே நேரத்தில் ஒரே இடத்தில் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட முழுதொத்த துகள்கள் இருக்க முயலுமாயின் குவாண்டம் விசையியலின்படி என்ன நிகழும் என்பதை நாம் முதலில் ஆராயவேண்டும். முது கொள்கையின்படி ஒரே இடத்தில் ஒரேநேரத்தில் இரு துகள்கள் இருக்க முடியாது என்ற தத்துவம் உள்ளது. எனினும் முது கொள்கைப்படி அமைந்த இக்கருத்து குவாண்டம் விசையியலுக்கு முற்றிலும் அப்பாற்பட்டது. மின்காந்த அலைகள் செயற்படுவதுபோல் திடப் பொருட்களின் வழியே ஊடுருவ முடியுமாயின் ஃபோட்டான்களும் மற்ற துகள்கள் இருக்கக்கூடிய அதே இடத்தில் இருக்கலாம். உண்மையில், அதே குவாண்டம் நிலையில் விருப்பப்படி எவ்வளவு ஃபோட்டான்களையும் குவிக்கலாம். அவ்வாறாயின் அணுக்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் யாவும் $N = 1$ நிலையிலேயே ஏன் இருப்பதில்லை ? உறுதியாக, இதுவே ஒரு அணுவுக்குரிய சிறும ஆற்றல் நிலை என்பதை அறிவோமல்லவா ?

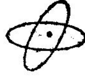
தவிர்க்கைத் தத்துவம் (Exclusion principle)

ஒரே நிலை அல்லது எலெக்ட்ரான் பாதையில் இரண்டுக்கு மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கமுடியாது என்ற எடுகோளை அமைப்போமாயின் அணுக்களின் எலெக்ட்ரான் அமைப்பு தானாகவே விளங்கும் என W. பௌலி (W. Pauli) என்பவர் 1925-ல் கண்டார். காட்டாக $N = 2$ கூட்டில் கோண உந்த குவாண்டம் எண் l, 0 அல்லது 1 மதிப்பைப் பெறலாம். ஆனால் $l = 1$ மதிப்புக்குக் குவாண்டம் எண் m_l-ன் $-1, 0, +1$ மதிப்புகளுக்குரிய மூன்று நிலைகள் இருக்கக்கூடும். இவ்வாறாக

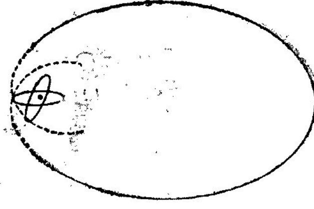


10^{-8} cm

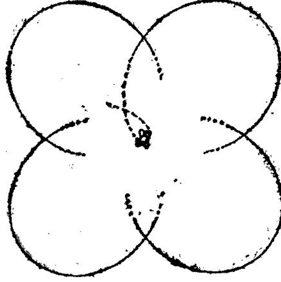
ஹைடிரஜன்



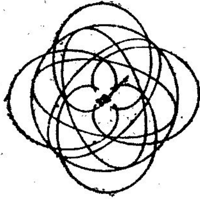
ஹீலியம்



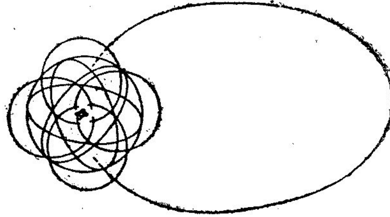
லிதியம்



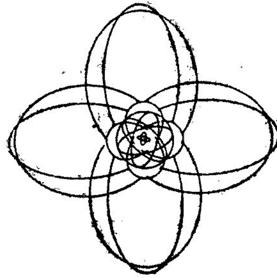
கார்பன்



நியான்



சோடியம்



ஆர்கான்

ஒவ்வொன்றும் இரு எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றிருக்குமாயின் மொத்தம் 8 எலெக்ட்ரான்கள் உலவக்கூடிய ஒரு கூட்டை அமைக்கவல்ல மொத்தம் நான்கு நிலைகள் உள்ளன. 1925-ல்



படம் 13-12

உல்ஃப்காங் பௌலி (Wolfgang Pauli)
(நன்றி : அமெரிக்கப் பௌதிகக் கழகம்)

பௌலியின் இந்தத் தவிர்க்கைத் தத்துவமும் மற்றுமொரு 'மனப்போக்கான' எடுகோளாகவே அமைந்தது.

எலெக்ட்ரான் சுழற்சி (Electron spin)

எனினும் 1926-ல் ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானும் $\frac{1}{2}$ $(h/2\pi)$ எண் மதிப்புள்ள உள்ளார்ந்த கோண உந்தம் ஒன்றைப் பெற்றிருக்கிறது என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. எலெக்ட்ரானை ஒரு அச்சைப் பற்றி $\frac{1}{2}$ $(h/2\pi)$ என்ற மாறுத கோண உந்தத்துடன் சுழலும் ஒரு கோளவடிவ நிறையாகக் கருதுவதன்மூலம் அத்தகைய கோண உந்தத்தை நாம் கற்பனையாகக் காணலாம். இந்த உள்ளார்ந்த சுழற்சியை ஒருபோதும் அதிகமாக்கவோ குறைக்கவோ முடியாது. அது ஒவ்வொருவகை அடிப்படைத் துகளுக்கு ஒரு தனிப்பட்ட மதிப்புடையது. எலெக்ட்ரான் சுழற்சி கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சில நாட்களுக்குள்ளாகவே P. M. டிராக், பௌலி ஆகியோர்கள் சுழற்சி — $\frac{1}{2}$ துகள்கள் எனப்படும் மனநிறைவளிக்கக்கூடிய

கொள்கை ஒன்றை உருவாக்க முடியும் என அறிந்தார்கள். குவாண்டம் விசையியல் சமன்பாடுகள் ஆய்வாளரின் திசை வேகத்தைச் சார்ந்திராத பெளதிக முடிவுகளை முன்னுரைக்க வேண்டுமென்பது சுழற்சி — $\frac{1}{2}$ துகள் அலைக்கொள்கையின் நிபந்தனைகளுள் ஒன்று ஆகும். இத்தேவைகளை நிறைவு செய்யக்கூடிய சார்பியல் சமன்பாடுகளைப் பெற்றபொழுது அவை பெளலியின் தவிர்க்கைத் தத்துவத்திற்கும் தானுகவே உட்பட்டன. எனவே தவிர்க்கைத் தத்துவமானது மற்றுமொரு மனப்போக்கான எடுகோளாயிராமல் எலெக்ட்ரானின் உள்ளார்ந்த சுழற்சியின் நேரடி விளைவே எனத் தோன்றுகிறது. எலெக்ட்ராளுனது நிறை, சுழற்சி, மின்னூட்டம் போன்றவற்றை ஏன் கொண்டிருக்க வேண்டுமென்பது இன்னமும் தீர்வு காணப்படாத பிரசினைகளாகும்.

இப்பொழுது நாம் தனிமங்களின் அட்டவணையில் ஒரு பகுதியைத் தனிமம் தனிமமாக ஆராய்வோம்.

13 - 6 தனிமங்களின் அட்டவணை

வேதியியலின் பெளதிகம்

வேதியியல் சோதனைகளின் துணையை நாடாமல் எல்லா தனிமங்களின் வேதியியல் பண்புகளையும் எவ்வாறு பெறமுடியும் என விளக்குவதே இப்பகுதியின் நோக்கமாகும். தத்துவரீதியாக வேதியியல் முழுவதையுமே சுழற்சி — $\frac{1}{2}$ எலெக்ட்ரான் கொள்கையிலிருந்து பெறமுடியும். எனினும் நடைமுறையில் தனிமங்களின் வேதியியல் பண்புகள் சோதனை மூலமாகவே நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன ; அவற்றிற்கான கணக்கீடுகள் மிகவும் கடினமானவையாதலால் அவற்றைப் பற்றிக் கவலைப்படத் தேவையில்லை.

அடுத்து தவிர்க்கைத் தத்துவத்தின் துணைகொண்டு ஒரு அணுவில் ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானும் எங்கு இருக்கிறது எனக் குறிப்பிடலாம், காட்டாக, தனித்த நியான் கரு $(Z = 10)$ ஒன்றைக் கருதுவோம். அதற்கு ஒரு எலெக்ட்ரானை மட்டும் அளிப்போமாயின் அது $N = 1$ பாதையை உடனே அடையும். இரண்டாவது எலெக்ட்ரானுக்கும் இதே நிலைதான் இவ்விரு எலெக்ட்ரான்களும் $N = 1$ பாதையை முற்றிலும் நிரப்புகின்றன· இரு $N = 1$ எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ள நியான் கருவுக்கு எஞ்சியுள்ள 8 எலெக்ட்ரான்களையும் அளிப்போமாயின் அவை $N =$ 2-க்குரிய நான்கு சுற்றுப்பாதைகளை முற்றிலுமாக நிரப்பும். அந்த நான்கு சுற்றுப்பாதைகளாவன ; $(l = 0)$, $(l = 1, m_l = -1)$, $(l = 1, m_l = 0)$, $(l = 1, m_l = +1)$ சுற்றுப் பாதைகளாகும். இப்பொழுது ஹைடிரஜனில் தொடங்கி குவாண்டம் கொள்கையால் முன்னுரைக்கப்பட்ட அணு அமைப்

புக்களை முறையாக விவரிப்போம். விரிவான கணக்கீடுகளின் துணையை நாடாமலேயே ஒவ்வொரு தனிமத்தின் கூடுகை எண்கள் (valences) அயனியாக்க மின்னழுத்தங்கள் ஆகியவற்றின் எண் மதிப்புக்களைப் பெறமுடியும் என நாம் காணலாம்.

$Z = 1$ ஹைடிரஜன்

இதைப் பற்றிய ஆய்வு முன்னரே முற்றுப்பெற்று விட்டது. ஹைடிரஜனிலுள்ள ஒற்றை எலெக்ட்ரான் -13.6 ev ஆற்றலையுடைய $N = 1$ நிலையில் உள்ளது. இவ்வாறாக, பிணைப்பாற்றல் அல்லது அயனியாக்க ஆற்றல் 13.6 ev ஆகும். அயனியாக்க மின்னழுத்தம் என்பது ஒரு அணுவை அயனியாக்கம் செய்வதற்குத் தேவையான சிறும மின்னழுத்தமாதலால் ஹைடிரஜனின் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் 13.6 ev ஆகும்.

$Z = 2$ ஹீலியம்

ஒரு எலெக்ட்ரானை கொண்டுள்ள ஹீலியம் அயனியான H_e+ ஆனது ஹைடிரஜனைப் போன்ற அதே வகையான, ஆனால் நான்கு மடங்கு மிகுந்த ஆற்றலையுடைய ஆற்றல் மட்டங்களைப் பெற்றிருக்கவேண்டும் என்று நாம் முன்னரே கண்டோம். இது சமன் 13.10-ல் உள்ள Z^2 என்னும் கூறின் விளைவாகும். H_e+-ன் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் 4×13.6 அல்லது 54.4 வோல்ட்டு களாக இருக்கும். இது சோதனை மூலமாகச் சரியெனக் காணப் பட்டது.

H_e+-க்கு அருகில் இரண்டாவது எலெக்ட்ரான் ஒன்று கொண்டுவரப்படின் அது முதலில், $(Z - 1)$ மின்னூட்டம் பெற்றிருப்பதாகக் தோன்றக்கூடிய ஒரு பொருளைக் காணும். ஆனால் இந்த இரண்டாவது எலெக்ட்ரான் $N = 1$ கூட்டை அடையும்பொழுது முதல் எலெக்ட்ரானைவிடப் பாதியளவுக்கு அணுக்கருவுக்கு அருகாமையில் உள்ளது ; அப்பொழுது Z மின்னூட்டங் கொண்ட ஒரு அணுக்கருவைக் காண்கிறது. இவ்விரண்டு மதிப்புகளுக்குமான சராசரி $(Z - \frac{1}{2})$ ஆகும். இவ்வாறாக, ஹீலியத்திலுள்ள ஒரு எலெக்ட்ரானுக்கு பயனுறு அணுக்கரு மின்னூட்டம் $Z_{eff} = 1.5_e$ என நாம் முன்னுரைக்கின்றோம். அவ்வாறாயின் ஹீலியத்தின் அயனியாக்க மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பு $(1.5)^2 \times 13.6$ அல்லது 30 வோல்ட்டுகளாக இருக்கும் என நாம் எதிர்பார்க்கலாம். உண்மையில் இரு எலெக்ட்ரான்களின் ஒதுக்கத்தால் (repulsin) விளையும் நேரின நிலையாற்றலின் பயனாய் பிணைப்பானது வலிமை மிக்கதாக இருக்காது என நாம் எதிர்பார்க்கலாம். சோதனைவாயிலாக, ஹீலியத்தின் அயனி

யாக்க மின்னழுத்தம் 24.6 வோல்ட்டுகள் என அறியப்படுகிறது. இதுவே எந்தவொரு தனிமத்திற்கும் உரிய உயர்ந்த அளவு அயனி யாக்க மின்னழுத்தமாகும். ஹீலியத்தின் பெருமளவு அயனியாக்க மின்னழுத்தத்தாலும் $N = 1$ கூட்டில் மூன்றுவது எலெக்ட்ரான் ஒன்றுக்கு இடமில்லையாதலாலும் அது வேதியியலில் நிலைமம் மிக்கதாக உள்ளது. வேதியியல் விசை எதுவும் 24.6 ev ஆற்றலை அளிக்கக்கூடிய அளவுக்கு வலிமை மிக்கதாக இல்லை. இதன் பயனுய் ஹீலியமும் யாவும் முற்றுப்பெற்ற கூடுகளை உடைய மற்ற அணுக்களும் எந்தத் தனிமங்களுடனும் இணைந்து மூலக்கூறுகளை அமைப்பதில்லை. அவை கேடுரு வாயுக்கள் (Noble gas) என அழைக்கப்படுகின்றன.

$Z = 3$ லிதியம்

இருமுறை அயனியாக்கப்பட்ட லிதியம் L_i^{++}, ஹைடிரஜன் அலைமாலையைப் போன்ற, ஆனல், 3^2 அல்லது 9 மடங்கு ஆற்றல்



படம் 13-13 1Å

லிதியம் அணுவின் நவீன உருமாதிரி, $N = 1$ எலெக்ட்ரான் மேகம் சிவப்பாகவும் $N = 2$ புற எலெக்ட்ரான் வெள்ளையாகவும் உள்ளன.

மட்டங்களோடுகூடிய நிறமாலையைப் பெற்றிருக்கும். ஒருமுறை அயனியாக்கப்பட்ட லிதியமானது ஹீலியத்திற்குரிய (2 - ½)-க்குப் பதிலாக (3 - ½) மதிப்பையுடைய Z_{eff}-உடன் கூடிய ஹீலியவகை நிறமாலையைப் பெற்றிருக்கும். தவிர்க்கைத் தத்துவத்தின் பயனுக நடுநிலை லிதியம் அதன் மூன்ருவது எலெக்ட்ரானை $N = 2$ கூட்டில் பெற்றிருக்கும். இந்த எலெக்ட்ரானுக்கு Z_{eff}-ன் மதிப்பானது ஒன்றைவிடச் சற்று அதிகமாக இருக்கும். எனவே லிதியத்தின் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் $13.6/N^2 = 13.6/2^2 = 3.4$ வோல்ட்டுகளைவிடச் சற்று அதிகமாக இருக்கவேண்டுமென நாம் எதிர்பார்க்கிறோம். ஆனல் சோதனைமுறை மதிப்பானது Z_{eff}-ன் 1.25 மதிப்பிற்குரிய 5.4 வோல்ட்டுகள் ஆகும். இரண்டாவது அயனியாக்க மின்னழுத்தம் (இரண்டாவது எலெக்ட்ரானை நீக்குவதற்குரியது) 75.6 வோல்ட்டுகள் ஆகும். எனவே லிதியமானது $+1$ கூடுகை எண்ணுள்ள (ஒரு எலெக்ட்ரானைக் கொடுக்கக்கூடிய) சேர்மங்களிலேயே (compounds) எப்பொழுதும் தோன்றும்; $+2$ கூடுகை எண்ணுள்ள (இரு எலெக்ட்ரான்களைக் கொடுக்கக்கூடிய) சேர்மங்களில் ஒருபோதும் தோன்ருது. லிதியம் எலெக்ட்ரான் மேகங்கள் எவ்வாறு தோற்றமளிக்கவேண்டும் என்பதைப் படம் 13-13 காட்டுகிறது.

இதுவரை நாம் கற்ற எல்லாக் கொள்கைகளின் படியும் $(N = 2, l = 0)$, $(N = 2, l = 1)$ நிலைகள் ஒரே ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கவேண்டும். எனினும் முற்றுப்பெற்ற $N = 1$ கூட்டைப் பெற்றுள்ள லிதியத்தைப் போன்ற ஓர் அணுவில் $l = 0$ நிலையானது $l = 1$ நிலையைவிட மிக்க வலிமையுடன் பிணைக்கப்பட்டிருக்கவேண்டும் என்பது படம் 13-4-லிருந்து புலப்படுகிறது. இஃது ஏனெனில், குறைந்த கோண உந்தத்தையுடைய மற்ற நிலைகளைவிட அதன் எலெக்ட்ரான் அலையின் பெரும்பகுதியை அணுக்கருவுக்கருகில் கொண்டுள்ளது. அணுக்கருவுக்கருகில் உள்ள எலெக்ட்ரான் அலையின் அப்பகுதியானது ஏறத்தாழ Z அளவே உள்ள Z_{eff}-ஐக் காண்கிறது. ஆனல் அணுக்கருவிலிருந்து தொலைவில் உள்ள அலைப்பகுதியானது ஏறத்தாழ ஒன்று மதிப்புடைய Z_{eff}-ஐக் காண்கிறது. இவ்விளைவு $l = 0$ நிலைக்கும் $l = 1$ அல்லது 2 துணைக்கூடுகளுக்குமிடையே கணிசமான ஆற்றல் வேறுபாட்டை ஏற்படுத்தக்கூடும். உண்மையில் அந்த விளைவானது $Z = 19$ மதிப்புக்கு (பொட்டாஷியம்) $(N = 4, l = 0)$ ஆற்றல் மட்டமானது $(N = 3, l = 2)$ மட்டத்தைவிடக் கீழ் நிலையில் உள்ள அளவிற்கு வலிமை மிக்கதாக உள்ளது. அட்டவணை 13.1 ஆற்றல் மட்டங்களின் வரிசையைக் காட்டுகிறது. இந்த விளைவை மற்ருெரு முறையிலும் கருதலாம்;

அட்டவணை 13-1 அணுவின் எலெக்ட்ரானியல் அமைப்பு*

		முதன்மை குவாண்டம் எண் N		1	2		3			4	
		திசைகோண குவாண்டம் எண் l		0	0	1	0	1	2	0	1
		நிலைகளின் எழுத்துப் பெயர்கள்		$1s$	$2s$	$2p$	$3s$	$3p$	$3d$	$4s$	$4p$
Z		தனிமம்	V_i வோல்ட்டுகள்								
1	H	ஹைடிரஜன்	13.60	1							
2	He	ஹீலியம்	24.58	2							
3	Li	லிதியம்	5.39	ஹீலிய மையம்	1						
4	Be	பெரிலியம்	9.32		2						
5	B	போரான்	8.30		2	1					
6	C	கார்பன்	11.26		2	2					
7	N	நைட்ரஜன்	14.54		2	3					
8	O	ஆக்ஸிஜன்	13.61		2	4					
9	F	ஃப்ளோரின்	17.42		2	5					
10	Ne	நியான்	21.56		2	6					
11	Na	சோடியம்	5.14	நியான் மையம்			1				
12	Mg	மக்னீஷியம்	7.64				2				
13	Al	அலுமினியம்	5.98				2	1			
14	Si	சிலிகான்	8.15				2	2			
15	P	பாஸ்பரஸ்	10.55				2	3			
16	S	கந்தகம்	10.36				2	4			
17	Cl	குளோரின்	13.01				2	5			
18	A	ஆர்கான்	15.76				2	6			
19	K	பொட்டாஷியம்	4.34	ஆர்கான் மையம்						1	
20	Ca	கால்ஷியம்	6.11							2	
21	Sc	ஸ்காண்டியம்	6.56						1	2	
22	Ti	டைட்டானியம்	6.83						2	2	
23	V	வனடியம்	6.74						3	2	
24	Cr	குரோமியம்	6.76						5	1	
25	Mn	மாங்கனீஸ்	7 43						5	2	
26	Fe	இரும்பு	7.90						6	2	
27	Co	கோபால்ட்	7.86						7	2	
28	Ni	நிக்கல்	7.63						8	2	
29	Cu	காப்பர் (தாமிரம்)	7.72						10	1	
30	Zn	சின்க் (துத்தநாகம்)	9.39						10	2	
31	Ga	காலியம்	6 00						10	2	1
32	Ge	ஜெர்மானியம்	7.88						10	2	2
33	As	ஆர்சனிக்	9.81						10	2	3
34	Se	செலினியம்	9.75						10	2	4
35	Br	புரோமின்	11.84						10	2	5
36	Kr	கிரிப்டான்	14.00						10	2	6

*சார்லட் E. மூர் (Charlotte E. Moore) எழுதிய அணு ஆற்றல் மட்டங்கள் பிரிவேடு 2-லிருந்து, தேசிய படித்தரங்கள் கழகம் சுற்றறிக்கை 467, வாஷிங்டன் 1952.

அதாவது அதிக கோண உந்தத்தையுடைய சுற்றுப் பாதையானது வட்டத்தைப் பெரிதும் ஒத்திருக்கும் ; எனவே குறைந்த கோண உந்தப்பாதையை விட அணுக்கருவிலிருந்து அதிகத் தொலைவில் இருக்கும். ஆகவே, குறைந்த l மதிப்பைப்பெற்ற நிலைகள் மிக்க வலிமையுடன் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும்.

$Z = 4$ பெரிலியம்

தவிர்க்கைத் தத்துவத்தின்படி $(N = 2, l = 0)$ நிலையில் மேலும் இரு எலெக்ட்ரான்களுக்கு இடமுள்ளது. இந்நிலையில் அணுக்கருவுக்கு அருகிலுள்ள எலெக்ட்ரான் அலைப்பகுதிக்குரிய Z_{eff} மதிப்பானது லிதியத்திற்குடையதைவிட அதிகமாக இருப்ப தால் அயனியாக்க மின்னழுத்தமும் அதிகமாக இருக்கவேண்டும். சோதனைமுறையில் பெரிலியத்திற்கு 9.32 வோல்ட்டுகளும் லிதியத்திற்கு 5.39 வோல்ட்டுகளும் கிடைத்தன. எனினும் இந்த எலெக்ட்ரானும் $N = 2$ நிலையிலேயே உள்ளதால் பெரிலியத்திற்கு இரண்டாவது அயனியாக்க மின்னழுத்தம் மிக அதிக அளவில் இல்லை. இவ்வாறாக, பெரிலியமானது சேர்மங்களில் + 2 கூடுகை எண்ணைக் கொண்டுள்ளது.

$Z = 5$ (போரான் - Boron), $Z = 6$ (கார்பன்), $Z = 7$ (நைட்ரஜன்)

$Z = 8$ (ஆக்ஸிஜன்), $Z = 9$ (ஃப்ளோரின்), $Z = 10$ (நியான்)

இந்த அணுக்கள் $(N = 2, l = 1)$ நிலைகளை நிரப்புவதன்மூலம் உருவாக்கப்படுகின்றன. $l = 1$ மதிப்புக்கு $(m_l = -1, 0, +1)$ என்ற மூன்று வெவ்வேறு நிலைகள் இருப்பதால் இந்த $(N = 2, l = 1)$ என்ற துணைக்கூடு 6 எலெக்ட்ரான்கள் வரை ஏற்கும். போரான், $N = 2$ நிலைகளில் மூன்று எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றிருக்கும். அதன் பயனாய் கூடுகை எண் + 3-ஐப் பெற்றிருக்கும். ஆக்ஸிஜனுக்கும் ஃப்ளோரினுக்கும் எலெக்ட்ரான் இணக்கம் (electron affinity) என்ற புதிய பண்பொன்று உண்டு. ஒற்றை ஃப்ளோரின் அணுவொன்று மிகை எலெக்ட்ரான் (extra electron) ஒன்றைப் பெற்று நிலையான Fl^- ஆக மாறும். அதன் அலையின் ஒரு பகுதியில் அதிக Z_{eff}-ஐக் காணும் இந்த மிகை எலெக்ட்ரான் 4.2 ev ஆற்றலுடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே ஃப்ளோரினின் கூடுகை எண் -1 ஆகும். O^{--}-ஐ உருவாக்குவதற்கான எலெக்ட்ரான் இணக்கம் 2.2 வோல்ட்டுகள் ஆகும். வேதியியல் சேர்மங்களில் ஆக்ஸிஜனும் நைட்ரஜனும் பொதுவாக முறையே -2, -3 என்ற கூடுகை எண்களுடன் தோன்றுகின்றன. நியானில் $N = 2$ நிலைகள் யாவும் முற்றுப்பெற்ற கூடு கிடைக்கின்றது. $N = 2$ எலெக்ட்ரானலைகள் (Z_{eff} மதிப்பு 10-ஐ அடையும்)

அணுக்கருவுக்கு ஓரளவு நெருக்கமாக இருப்பதால் அதன் அயனி யாக்க மின்னழுத்தம் அதிகமாக, அதாவது 21.6 வோல்ட்டு களாக உள்ளது. எனவே, ஹீலியத்தைப் போன்று நியானும் வேதியியலில் மிக்க நிலைமமுடையதாயுள்ளது.

$Z = 11$ (சோடியம்) முதல் $Z = 18$ (ஆர்கான்) முடிய

8 தனிமங்களடங்கிய இத்தொகுப்பில் $(Z = 3, l = 0)$, $(N = 3, l = 1)$ நிலைகள் முந்திய 8 தனிமங்களிலுள்ளதைப் போலவே நிரப்பப்பட்டுள்ளன. எனவே, இத் தனிமங்களின் வேதியியல் பண்புகள் முந்திய 8 தனிமங்களைப் பெரிதும் ஒத்திருக் கின்றன. இதுவே தனிம அட்டவணையின் விளக்கமாகும்.

$Z = 19$ (பொட்டாஷியம்)-ம் அதற்கு மேலும்.

அடுத்த தனிமத்தின் புற எலெக்ட்ரான் $(N = 3, l = 2)$ நிலையில் இருக்குமென நாம் எதிர்பார்க்கலாம். எனினும் $Z = 3$ லிதியத்திற்கு விளக்கப்பட்டுள்ளது போல $(N = 4, l = 0)$ அலையானது $(N = 3, l = 2)$ அலையைவிடச் சற்றே அதிகமான $Z_{eff}{}^2/N^2$-ஐக்காண நேரிடுகிறது. மாறாக, $(N = 3, l = 2)$ ஆற்றல் நிலையானது $(N = 4, l = 1)$ நிலையைவிடக் கீழே உள்ளது. ஆகவே, $Z = 21$ (ஸ்காண்டியம் – Scandium)-ல் $N = 3$ கூட்டில் $l = 2$ நிலைகள் நிரம்பத் தொடங்குகின்றன. $Z = 36$ ஈறாக உள்ள தனிமங்களின் எலெக்ட்ரானியல் அமைப்பை அட்டவணை 13.1-ல் காணலாம். குவாண்டம் விசையியலைப் பயன்படுத்தி $Z = 102$ ஈறாக உள்ள எல்லாத் தனிமங்களின் எலெக்ட்ரானியல் அமைப்புக்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. உண்மையில் $Z = 103$, $Z = 104$ போன்ற பிற தனிமங்களின் வேதியியல் பண்புகளை அத் தனிமங்கள் செயற்கை முறையில் உருவாக்கப்படும் முன்னரே கூறுமளவுக்கு இந்தக் கொள்கை மேம்பட்டதாக உள்ளது.

அயனியாக்க மின்னழுத்தங்களையும் எலெக்ட்ரான் இணக்கங் களையும் பிழையின்றி கணக்கிடுவதற்குக் கடும் முயற்சி தேவை. ஆனால் மேற்கூறிய கணக்கீடுகளைத் தத்துவரீதியாகச் செய்வதற்குத் தேவையான கொள்கைகள் நம்மிடம் உள்ளன. இவ்வாறாக, சுழற்சி - $\frac{1}{2}$ எலெக்ட்ரானின் குவாண்டம் விசையியல் (quantum mechanics of spin - $\frac{1}{2}$ electron) என்ற எளிய கொள்கையின் துணை கொண்டு வேதியியல் முழுவதையும் விளக்கலாம்.

13.7 X-கதிர்கள்

வெறுமைத் துளையை நிரப்புதல்

ஒவ்வொரு அணுவுக்கும் சிறப்பு அலைமாலை ஒன்று உண்டு. ஒரு தனிமத்தை மின் வில் ஒன்றில் வைப்பதன் மூலமோ அல்லது மின்போக்கு (electric discharge) ஒன்றில் வைப்பதன் மூலமோ அயனியாக்கும்பொழுது அத் தனிமம் அந்த அலைமாலையை வெளி விடுகிறது. புவியிலோ அல்லது விண்மீன்களிலோ உள்ள இனந் தெரியாத தனிமங்களை அலைமாலையியலை (spectroscopy)ப் பயன் படுத்தி ஆராயலாம். இந்த அலைமாலைவரிகள் ஹைடிரஜனி லுள்ளதைப் போல ஒன்றிரண்டு புற எலெக்ட்ரான்களுக்குரிய பல்வேறு ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையே நிகழும் குவாண்டம் தாவல் களுக்குரியனவாகும். இந்த ஆற்றல் நிலைகளின் ஆற்றல்கள் ஒரு சில எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் அளவிலேயே இருப்பதால் சிறப்பு அலைமாலையானது கண்ணுறு, புறஊதா, புறச்சிவப்புப் பகுதிகளில் வரிகளைக் கொண்டிருக்கும்.

எனினும் எடைமிக்க ஒரு அணு நூற்றுக்கணக்கான அல்லது ஆயிரக்கணக்கான எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் அளவு மிக அதிக ஆற்றலையுடைய ஃபோட்டான்களையும் வெளிவிட முடியும். அத்தகைய அதிக ஆற்றலையுடைய ஃபோட்டான்கள் X-கதிர்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. ஒரு அணுவில் அக எலெக்ட்ரான் ஒன்று நீக்கப்படின் X கதிர் வெளிவிடப்படுகிறது. அத்தகைய அணுவில் நீக்கப்பட்ட அந்த அக எலெக்ட்ரானின் இடத்தை நிரப்பப் புற எலெக்ட்ரான் ஒன்று விரைந்து தாவும். ஒரு தனிமத்தைப் பல ஆயிரக்கணக்கான வோல்ட்டுகள் வழியே முடுக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான் கற்றையைக் கொண்டு தாக்குவதன் மூலம் அக எலெக்ட்ரான்களை நீக்கலாம். அத்தகைய கற்றையி லுள்ள எலெக்ட்ரான்களுள் சில தனிமத்தின் அகக்கூட்டிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களுடன் மோதி அவற்றிற்குரிய அணுக்களிலிருந்து அவற்றை வெளியேற்றுகின்றன. $N = 1$ கூட்டிலுள்ள (X-கதிரிய லில் — x-ray technology — K கூடு) ஒரு எலெக்ட்ரான் 13.6 Z_{eff}^2 எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. இங்கு Z_{eff}, $(Z - \frac{1}{2})$-க்கு மிக அருகில் உள்ளது.

மாதிரிக் கணக்கு

தாமிரம், யுரேனியம் ஆகியவை வெளிவிடக்கூடிய பெரும ஆற்றல் X-கதிர்கள் யாவை? ஃபோட்டான் ஆற்றல்களையும் அலைநீளங்களையும் கணக்கிடுக.

கட்டற்ற சுழிஆற்றல் எலெக்ட்ரான் ஒன்று K கூட்டிலுள்ள $(N = 1)$ வெற்றிடத்திற்கு தாவுமாயின் பெரும ஆற்றல் X-கதிர்கள் வெளிவிடப்படும்.

$$\text{தாமிரத்திற்கு } Z = 29 \; ; \; hf = 13.6 \times (28 \; 5)^2 = 11{,}000 \text{ ev}$$

$$\lambda = \frac{12{,}345}{11{,}000} = 1.12 \text{ A}$$

$$\text{யுரேனியத்திற்கு } Z = 92 \; ; \; hf = 13.6 \times (91.5)^2 = 112{,}000 \text{ ev}$$

$$\lambda = \frac{12{,}345}{112{,}000} = 0.11 \text{ A}$$

இக் கணக்கு, புதிதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட தனிமங்களின் Z-ஐ மதிப்பிடுவதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் மிகவும் நம்பகமான முறை ஒன்றை விளக்குகிறது. இம்முறையில் இனந்தெரியாத தனிமம் வெளிவிடும் உயர் ஆற்றல் X கதிர்களின் அலைநீளங்களையே ஒருவர் மதிப்பிடுகிருர்.

X கதிர்கள் திடப்பொருட்களில் உள்ள அணுவிடைத் தூரங்கள் அளவிலான அலைநீளங்களைப் பெற்றிருப்பதால் அவை திடப் பொருட்களின் அமைப்பைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு மிகவும் பயன்படக்கூடிய ஒரு கருவியாகவும் அமைகின்றன. முந்திய இயல்களில் கூறியுள்ளபடி படிகம்' ஒன்றில் அடுத்தடுத்து அமைந்துள்ள அணுத்தளங்கள் கீற்றணி ஒன்றின் கோடுகளாகச் செயற்படுகின்றன. எனவே, X-கதிர் அலைநீளத்தை அறிந்தால் X-கதிர் விளிம்பு விலகல் கோணங்களை அளவிடுவதன்மூலம் அணுவிடைத் தூரங்களை மதிப்பிடலாம் (பார்க்க சமன் 10.10).

கணக்குகள்

1. H_e^+-ல் அடிநிலை போஹ்ர் ஆரம் என்ன ?

2. படம் 13-2-ல் காட்டப்பட்டுள்ள நிலையாற்றல் படத்திற்கு ψ_4, ψ_5 ஆகியவற்றின் பண்பியல் உருவரைகளை வரைக.

3. ஹைடிரஜன் அலைமாலையிலும் H_e^+ அலைமாலையிலும் அதே அலைநீளத்தைக் கொண்டுள்ள வரிகளைக் காண்க. அந்த அலைநீளம் என்ன ?

4. (a) $N = 2$ முற்றுப்பெற்ற கூடு

(b) $N = 3$ முற்றுப்பெற்ற கூடு

(c) $N = 4$ முற்றுப்பெற்ற கூடு

ஆகியவற்றில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் எத்தனை ?

5. $N = 6$, $l = 2$ துணைக்கூட்டிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் பெரும எண்ணிக்கை என்ன ?

6. ஹைடிரஜன் வாயுவின் மாதிரிக்கூறு (sample) ஒன்று $N = 5$ நிலைக்குக் கிளர்ச்சியூட்டப்படுகிறது. இந்த வாயுவின் வெளிவிடு. அலைமாலை (emission spectrum) யில் தோன்றக்கூடிய வரிகளின் எண்ணிக்கை என்ன ?

7. உட்கவர் அலைமாலை (absorption spectrum) என்பது தொடர் நிறமாலையில் தோன்றும் கறுப்பு வரிகளாகும். அடிநிலையிலுள்ள ஹைடிரஜனின் வழியாகத் தொடர் அலைமாலைக் கதிர்வீச்சு ஒன்றை அனுப்புவதன் மூலம் ஹைடிரஜனின் உட்கவர் அலைமாலைக் கிடைக்கப் பெறுகிறது. சில எலெக்ட்ரான்கள் சில குறிப்பிட்ட ஆற்றலையுடைய ஃபோட்டான்களை உட்கவர்ந்து உயர் ஆற்றல் நிலைகளுக்குத் தாவும். அந்தச் சில குறிப்பிட்ட ஃபோட்டான் ஆற்றல்கள் யாவை ? கறுப்புக் கோடுகளின் அலைநீளங்கள் யாவை ?

8. இனந்தெரியாத தனிமம் ஒன்று வெளிவிட்ட பெரும ஆற்றல் X-கதிர்கள் $2.16\text{-}A$ அலைநீளத்தைப் பெற்றுள்ளன. அத்தனிமம் எது ?

9. மியு-மெஸிக் (mu-mesi) அணு ஒன்று அடிநிலையிலுள்ள μ^- மெஸான் (μ^- meson - எலெக்ட்ரானைப்போல் 207 மடங்கு எடை மிக்க ஒரு துகள்) ஒன்றுடன் Z மின்னூட்டங்கொண்ட ஒரு அணுக்கருவைப் பெற்றுள்ளது.

(a) புரோட்டான் ஒன்றினால் பிடிக்கப்பட்ட μ^- ஒன்றின் பிணைப்பாற்றல் என்ன ?

(b) (a) பகுதியில் $N = 1$ போஹ்ர் பாதையின் ஆரம் என்ன ?

(c) மேற்கூறப்பட்ட μ^-, $N = 2$ நிலையிலிருந்து தாழ்ந்த நிலைக்குத் தாவும்போது வெளிவிடப்படும் ஃபோட்டான் ஆற்றல் என்ன ?

10. காரீய ($Z = 88$) மியு-மெஸிக் அணு ஒன்றைக் கருதுக, மியு-மெஸானுக்கான $N = 1$ போஹ்ர் பாதையானது கருவுக்கு உள்ளே அமைந்துள்ளதா ? வெளியில் அமைந்துள்ளதா ?

11. $N = 2$ கூட்டிலுள்ள ஒரு எலெக்ட்ரான் $N = 1$ கூட்டிலுள்ள துளையை நிரப்ப விரையும்பொழுது பெருமச் செறிவுடன்

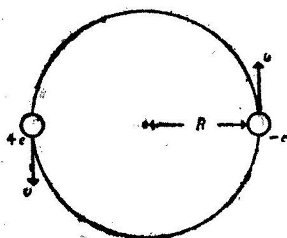
கூடிய X-கதிர் வெளிப்படுகிறது. ($N = 2$) நிலைக்கான Z_{eff} ன் மதிப்பு $N = 3$ எனக் கொள்க. தாமிரத்திலிருந்து வெளிப்படும் இந்த X கதிரின் அலைநீளம் என்ன ?

12. இந்தக் கணக்கில் பாஸிட்ரானியத்திற்கு (positronium) போஹ்ர் மாதிரிப்படிவம் பயன்படுத்தப்படுகிறது. பாஸிட்ரானியம் என்பது *R*-ஐ ஆரமாகக் கொண்ட $N = 1$ சுற்றுப் பாதையில் உள்ள நேரின எலெக்ட்ரானுடன் (பாஸிட்ரான்) பிணைக்கப்பட்ட எதிரின எலெக்ட்ரானுகும். இந்த எலெக்ட்ரானும் பாஸிட்ரானும் பொது மையம் ஒன்றைப்பற்றிச் சுற்றுகின்றன.

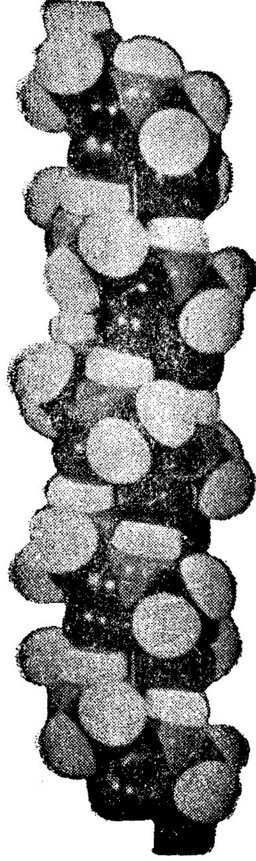
(a) அத்தகைய அமைப்பின் மொத்த கோண உந்தத்தை m, v, R ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் கணக்கிடுக.

(b) போஹ்ர் கொள்கையின்படி மொத்த கோண உந்தம் $N(h/2\pi)$ ஆக இருக்கவேண்டும். m, v, h ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் $N = 1$ ஆரத்தைக் கணக்கிடுக.

கணக்கு 13



13. அடிநிலையிலுள்ள பாஸிட்ரானியத்தின் பிணைப்பாற்றல் எத்தனை எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் ? இக் கணக்கைச் செய்யும் முறைச் சற்று நீளமானது. அம்முறையானது 12-வது கணக்கிற்கான விடையைச் சமன் 13-6-ல் பொருத்தி சமன் 13-10-ஐப் பெறும் முறையாகும். அவ்விரு துகள்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவு R அன்றி $2R$ என்பதையும் நினைவில் கொள்ளவேண்டும்.



பருப்பொருள் அமைப்பு
(The Structure of Matter)

இயல் 14

பருப்பொருள் அமைப்பு

சிறு தொலைவுகளில் அமைந்த அணுக்கள், எலெக்ட்ரான்கள், மூலக்கூறுகள் ஆகியவற்றிற்கிடையேயான செயலெதிர்ச் செயல்களின் அடிப்படையில் பருப்பொருளின் அமைப்பு மற்றும் பண்புகளை விளக்கலாம். அத்தகைய செயலெதிர்ச் செயல்கள் குவாண்டம் கொள்கையின் உதவியால் விளக்கப்படுகின்றன என்று முன்னரே கண்டோம். எனவே, பருப்பொருளின் அமைப்பைப் பற்றிய நமது ஆய்வில் குவாண்டம் கொள்கையின் சில 'சிறப்பு' (Peculiar)க் காட்சிகளைக் காணலாகும். உண்மையில் இந்த இயலில் பேரளவு மற்றும் நுண்ணளவு வகையில் இந்த குவாண்டம் விசையியலுக்கே உரிய நிகழ்ச்சிகள் இடம் பெறுகின்றன.

14-1 மூலக்கூற்றுக் கொள்கை

எலெக்ட்ரான் திருட்டும் எலெக்ட்ரான் பங்கீடும்

அணுக்கள் ஒருங்கே பிணைந்து மூலக்கூறுகளை அமைப்பதற்கான இருவேறு செயல்முறைகளைப்பற்றி நாம் இங்கு ஆராய்வோம். அம்முறைகளாவன (i) அயனிப் பிணைப்பு (Ionic binding), (ii) சக பிணைப்பு (Covalent binding).

அயனிப் பிணைப்பு

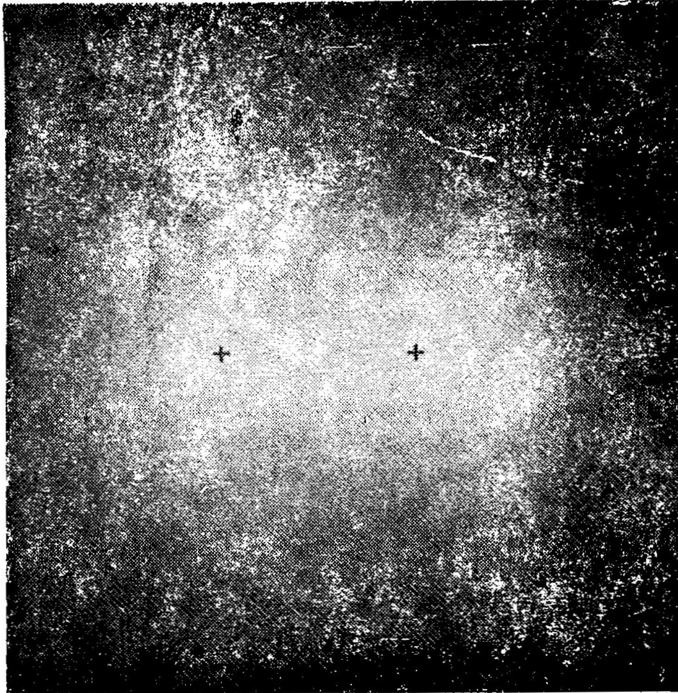
அயனிப் பிணைப்பு கூலம் விதியால் விளைவதாகும். காட்டாக, ஓரலகு மின்னூட்டமேற்ற நேரின, எதிரின அயனிகளிடையே ஒரு ஈர்ப்பு விசை இருக்கும். ஈர்ப்பு விசையின் நிலைமின்னாற்றலான e^2/R இரு அயனிகளையும் உருவாக்குவதற்குத் தேவையான ஆற்றலின் அளவைவிட அதிகமாக இருப்பின் ஒரு நிலையான மூலக்கூறு ஏற்படக்கூடும். காட்டாக, பொட்டாஷியம் குளோரைடு (KCl) மூலக்கூறு ஒன்றைக் கருதுவோம். K^+, Cl^- ஆகிய அயனிகளை உருவாக்குவதற்குத் தேவையான ஆற்றல் 0.52 ev ஆகும். இஃது ஏனெனில் பொட்டாஷியத்தின் அயனியாக்க

மின்னழுத்தம் 4.34 வோல்ட்டுகள் குளோரினின் எலெக்ட்ரான் இணக்கம் 3.82 வோல்ட்டுகள். எனவே, இரு அயனிகளையும் உருவாக்குவதற்குத் தேவையான நிகர ஆற்றல் 4.34 3.82 அல்லது 0.52 ev ஆகும். அவ்விரு அயனிகளும் e^2/R-ன் மதிப்பு 0.52 ev-ஐ விட அதிகமாக இருக்குமளவுக்கு ஒன்றை ஒன்று நெருங்குமாயின் நிலையான மூலக்கூறு ஒன்று உருவாகும். இரு அயனிகளின் ஆரங்களின் கூட்டுத்தொகையை R-க்குப் பதிலீடு செய்வதன்மூலம் இந்த நிலைமின் நிலையாற்றலை (Electrostatic potential energy) மதிப்பிடலாம். K^+, Cl^- ஆகிய இரு அயனிகளும் ஏறத்தாழ 1.5A ஆரங்களைக் கொண்டுள்ளன. எனவே e^2/R-ன் மதிப்பு 4.8 ev ஆகும். எனவே KCl மூலக்கூறு உருவாவதற்குத் தேவையான ஆற்றல் ஏறத்தாழ (4.8—0.52)ev ஆகும். சோதனை முறையில் அளவிடப்பட்ட 4.4 ev மதிப்புத் தோராயமாகக் கணக்கிடப்பட்ட நமது மதிப்புடன் ஒத்திருக்கிறது. பெரும்பான்மையான அங்ககச் சேர்மங்களின் (Organic compounds) பிணைப்பு அயனிப் பிணைப்பின் விளைவாய் நிகழ்கிறது. அயனிப் பிணைப்பை எலெக்ட்ரான் திருட்டு எனக் கூறலாம்.

சக பிணைப்பு

பெரும்பான்மையான அங்கக மூலக்கூறுகளில் நிகழும் மூலக்கூறு பிணைப்புக்கான மிக அதிகமாகக் காணப்படும் மற்றொரு செயல்முறை சக பிணைப்பு எனப்படும். சக பிணைப்பில் இரு அணுக்கள் இரு எலெக்ட்ரான்களைச் சமமாகப் பங்கிட்டுக் கொள்கின்றன. சக பிணைப்புக்கான மிக எளிய எடுத்துக்காட்டு ஹைடிரஜன் மூலக்கூறு ஆகும். முதலில் அயனியாக்கப்பட்ட ஹைடிரஜன் மூலக்கூறு H_2^+-ஐக் கருதுவோம். இது, எலெக்ட்ரான் மேகம் ஒன்றினால் சூழப்பட்ட இரு புரோட்டான்களைக் கொண்டுள்ளது. எலெக்ட்ரானின் பிணைப்பாற்றலானது ஒரு புரோட்டானுக்கும் எலெக்ட்ரானுக்கும் உள்ளதைவிட இரண்டு புரோட்டான்கள் இருக்கும்போது அதிகமாகவே இருக்கும். மாறாக, இரு புரோட்டான்களுக் கிடையேயான நிலைமின் ஒதுக்கு விசை பிணைப்பை எதிர்க்க முயலுகிறது. எனினும், எலெக்ட்ரான் அலையானது அணுக்கருவை நெருங்கி இரு புரோட்டான்களுக் கிடையே செறிவுபெற (To concentrate) முயற்சிப்பதால் எலெக்ட்ரானுக்கும் இரு புரோட்டான்களுக்கும் உள்ள நிலைமின் ஈர்ப்பு விசையானது மேம்பட்டு உள்ளது. He^+-ல் இரு புரோட்டான்கள், எலெக்ட்ரான் ஆகியவற்றிற்கிடையேயான பிணைப்பாற்றல் 2.65 ev ஆகும்.

பௌலியின் தவிர்க்கைத் தத்துவத்தின்படி முதல் எலெக்ட்ரானின் அதே எலெக்ட்ரான் அலையில் இரண்டாவது எலெக்

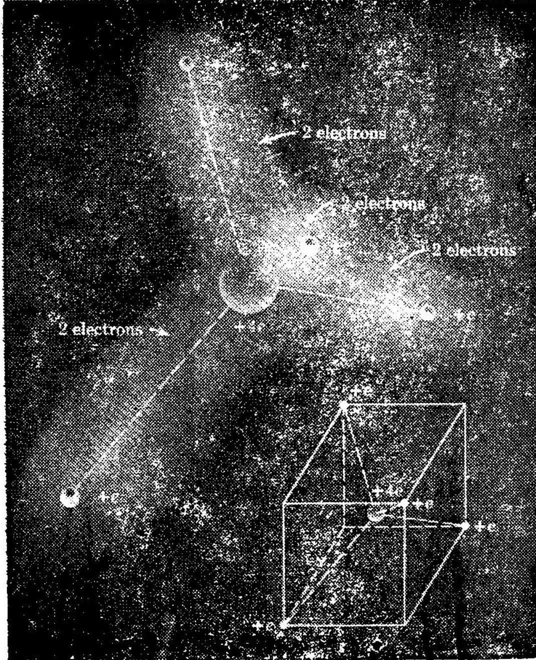


படம் 14-1

H_2-ல் எலெக்ட்ரான் மின்னூட்ட அடர்த்தி. வெண்மையின் அளவு ஒரு களத்தின் மீது வீழ்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான் அலையத்தின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது.

ட்ரான் ஒன்றும் இடம்பெற முடியும். இரு எலெக்ட்ரான்களும் புரோட்டான்களும் சேர்ந்த இந்த அமைப்பே நடுநிலை ஹைடிரஜன் மூலக்கூறு ஆகும். இங்கு எலெக்ட்ரான் அலையமானது இரு எலெக்ட்ரான்களுக்கிடையே நிலையின் ஒதுக்கு விசையின் காரணமாக H_2^+-ல் உள்ள ஒற்றை எலெக்ட்ரானைவிடச் சற்று அதிகமாகப் பரவியுள்ளது. நடுநிலை H_2 மூலக்கூறின் மொத்த பிணைப் பாற்றல் 4.48 ev ஆகும். H_2 மூலக்கூறிலுள்ள இரு எலெக்ட்ரான்களுக்குமான எலெக்ட்ரான் மேகமானது (அலையத்தின் இருமடி) 'அதனைக் கண்ணால் காணமுடியுமாயின்' படம் 14-1-ல் உள்ளது போல் தோற்றமளிக்கும்.

கார்பன் அணுக்கள் பொதுவாகச் சக பிணைப்பை உருவாக்கு கின்றன. கார்பன் அணுவானது அதன் $(N = 2, l = 1)$ கூட்டை நிரப்பும் முயற்சியில் மேலும் நான்கு எலெக்ட்ரான்களைப் பங்கிட் டுக் கொள்ளும் பாங்கை (Tendency)ப் பெற்றுள்ளது. அத்தகைய



படம் 14-2

மீதேனின் (Methane) எலெக்ட்ரான் அலை அமைப்பைக் காட்டும் பண்பியல் (qualitative) படம். ஹைடிரஜன் அணுக்கருக்கள் ஒழுங்கான நாற் பிழம்பு (tetrahedran) ஒன்றின் மூலைகளிலோ அல்லது ஒரு சதுரத்தின் 8 மூலைகளில் நான்கிலோ அமைந்துள்ளன. எலெக்ட்ரான்கள் கார்பன்-ஹைடிரஜன் கோடுகளின் வழியே செறிந்துள்ளன.

நிகழ்ச்சியின் பயனை CH_4 (மீதேன்—Methane -ஐப் படம் 14-2-ல் காணலாம். அங்கக வேதியியலின் ஆய்வானது கார்பன் அணுக் களையும் சக பிணைப்புகளையும் கொண்டுள்ள மூலக்கூறுகளைப் பற்றியது. கார்பன் அணுக்கள் அவை ஒன்றுக்கொன்று எலெக் ட்ரான்களைப் பங்கிட்டுக்கொள்வதற்குத் தயங்காத சிறப்புத் தன்மையைப் பெற்றுள்ளன. எனவே, அங்கக வேதியியலில் பல மூலக்கூறுகள் கார்பன் அணுக்களின் நீண்ட தொடர்களைப் பெற் றுள்ளன. இத்தகைய நீண்ட தொடர்கள் Long chains) பல வற்றில் ஆயிரக்கணக்கான கார்பன் அணுக்கள் உள்ளன. இந்த

இயலின் தொடக்கத்தில் உள்ள படம் அத்தகைய மூலக்கூறின் ஒரு சிறு பகுதியைக் காட்டுகிறது. அவைகளுள் பல உயிர்வாழ் பொருட்களாக இயற்கையில் தோற்றமளிக்கின்றன. குவாண்டம் விசையியல், மேல்நிலை பௌதிக மற்றும் வேதியியல் முறைகள் ஆகியவற்றின் உதவியால் உயிர்வாழ்வின் அடிப்படையான மிகப் பெரு புரோட்டீன் மூலக்கூறுகளின் சரியான அமைப்பை இப்பொழுது மதிப்பிட முடிகிறது. உண்மையில், சிக்கல் வாய்ந்த இந்த மூலக்கூறுகள் எவ்வாறு இனப்பெருக்கம் செய்கின்றன என்பதை அறிந்துகொள்வது அண்மையில் எளிதாயிற்று. உயிர் வாழ்வின் 'இரகசியத்தை' முற்றிலும் அறிவதென்பது எதிர் காலப் பிரசினைகளில் ஒன்றாகும். ஒருவேளை விஞ்ஞானிகள் முற்றிலும் உயிரற்ற பருப்பொருளிலிருந்து புது வகை உயிரினங் களை என்றோ ஒருநாள் உருவாக்கக்கூடும்.

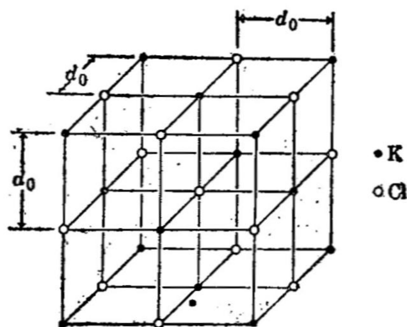
14-2 படிகவியல் திண்மங்கள் (Crystalline solids)

மீப்பெரும் மூலக்கூறுகள்

பெரும்பான்மையான சேர்மங்களும் தனிமங்களும் திடப் பொருள் நிலையில் அமையும்பொழுது தூய படிகம்போல் கண் ணுக்குத் தோன்றும். முறையார்ந்த (periodic) அணிக்கோவை (lattice) களில் அணுக்களைக் கொண்டுள்ளன. அணுக்களை மூலக் கூறுகளாகப் பிணைக்கும் அதே செயல்முறைகள் அவைகளை வரம் பற்ற ஒழுங்கான அமைப்பு அல்லது 'மீப்பெரு மூலக்கூறு' ஒன்றாக வும் பிணைக்க முடியும். இத்தகைய பொருட்களுள் பெரும்பான்மை யானவை பல நுண்ணிய படிகங்களால் ஆனவை (பல் படிக அமைப்பு—poly crystalline structure) ஆதலால் அவை படிகங் களாகக் கண்ணுக்குப் புலப்படுவதில்லை. சில திட, திரவப் பொருட்கள், குறிப்பாக குறைந்த வெப்ப நிலைகளில் குவாண்டம் கொள்கைக்குரிய 'தனிச் சிறப்பு வாய்ந்த' பேரளவு (large scale) பண்புகளைப் பெற்றுள்ளன. திட, திரவப் பொருட்களின் பண்பு கள் மற்றும் இயற்காட்சிகள் (phenomena) ஆகியவற்றைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிப்பகுதி திடநிலைப் பௌதிகம் (Solid state physics) என அழைக்கப்படுகிறது. அது தற்பொழுது பௌதிக ஆராய்ச்சிக் கான பெருந்தலைப்புகளில் ஒன்றாகும்

அயனி மற்றும் சகபிணைப்பு மூலக்கூறுகள் இருப்பது போலவே அயனி மற்றும் சக பிணைப்பியல் படிகங்களும் (ionic and covalent crystals) உள்ளன. படம் *14-3* KCl அயனிப் படிகத்தின் அமைப் பைக் காட்டுகிறது. ஒவ்வொரு K^+ அயனியை அடுத்துச் சுற்றி லும் 6 Cl^- அயனிகள் இருப்பதைக் காணலாம் K^+. Cl^- ஆகிய அயனிகளின் இத்தகைய இடவகைத் தோற்றப்பாடு (Spatial

configuration) இருக்கக் கூடிய மற்ற எல்லா தோற்றப்பாடுகளைக் காட்டிலும் குறைந்த ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது (அது உருவாகும் போது பெரும்பகுதி வெப்பத்தை வெளிவிடுகிறது). இதன்



படம் 14-3

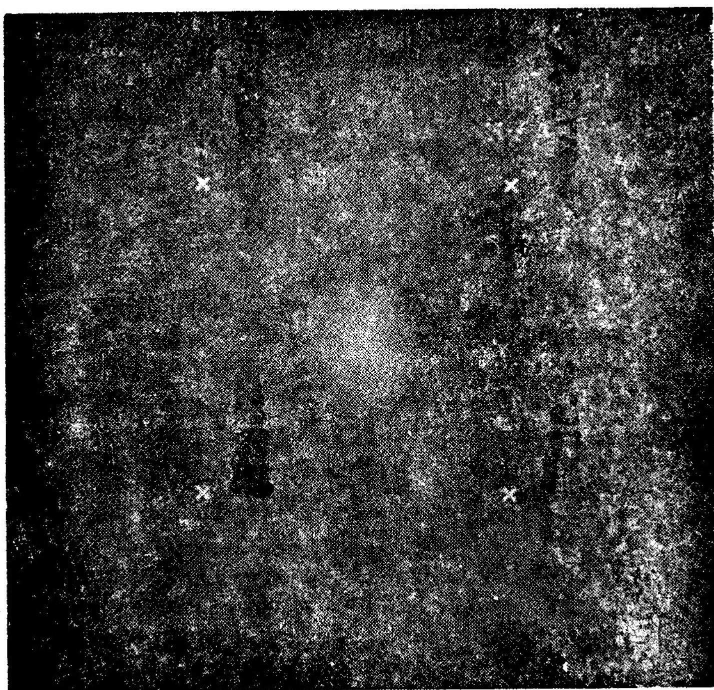
KCl-ன் படிக அமைப்பு. சிறு வட்டங்களின் K, Cl ஆகிய அணுக்களின் மையங்களின் நிலைகளைக் குறிக்கின்றன.

பயனாகவே KCl மற்றும் பல பொருட்களை அவற்றின் 'உறை நிலைகளுக்குக்' கீழ் குளிர்விக்கும்பொழுது தூய்மையான படிகத்தை உருவாக்கக் கூடிய தன்மையைக் கொண்டுள்ளன. வெப்ப நிலையை உயர்த்தும்பொழுது வெப்பநிலை இயக்க ஆற்றலானது (thermal KE) ஒழுங்கான படிகமாகப் பிணைக்கக்கூடிய ஆற்றலை விட அதிகமாகி படிகம் உருகுகிறது.

உலோகப் பிணைப்பு (Metallic binding)

பின்வரும் கருத்துக் கேற்றவாறு அமைந்த சில புற எலெக்ட்ரான்களை மட்டும் கொண்டுள்ள தனிமங்களில் மட்டும் காணப் படும் உலோகப் பிணைப்பு எனப்படும் மற்றொருவகைப் பிணைப்பும் உண்டு. புற எலெக்ட்ரான்களின் எலெக்ட்ரான் மேகத்தின் அளவைவிடக் குறைந்த அளவுக்கு அணுக்களை நெருக்கும்பொழுது இத்தகைய பிணைப்பு ஏற்படுகிறது. தவிர்க்கைத் தத்துவத்தின் பயனாய் அத்தகைய அமைப்பானது புற எலெக்ட்ரான்களை அதிக ஆற்றல் நிலைகளுக்கு உயர்த்த முயலும். எனினும் உலோகங்கள் என அழைக்கப்படும் பொருட்களில் இந்த அமைப்பானது அணுக்கள் தொலைதூரங்களில் இருக்குமாயின் பெறக்கூடிய ஆற்றலைவிட மேலும் குறைவான ஆற்றலையே பெற்றிருக்கும். லிதியம், பொட்டாஸியம் அல்லது சோடியம் ஒரே ஒரு புற எலெக்ட்ரானைக் கொண்ட ஒரு பொருளைக் கருதுவோம். படம் 14-4 கட்டுரு லிதியம் அணுவின் புற எலெக்ட்ரான்

மேகத்தைக் காட்டுகிறது . லிதியம் அணிக்கோவையின் அண்டை அணுக்கருக்களின் நிலைகள் சிறிய x குறியீடுகளால் காட்டப்பட்டுள்ளன. அணுக்கள் அவற்றின் முற்றுப்பெற்ற அகக்கூடுகள் ஒன்றையொன்று தொடுமளவிற்கு நெருக்கமாக இருப்பின் அண்டை அணுக்கருக்கள் கட்டற்ற அணுவின் புற எலெக்ட்ரான் மேகத்திலுள் அமைந்திருக்கும். அத்தகைய நிலையில் புற எலெக்ட்ரான் அண்டை அணுக்கருக்களால் ஈர்க்கப்படுகிறது. அதன் பயனாய் எலெக்ட்ரானின் பிணைப்பாற்றல் அதிகமாவதோடு அதன்



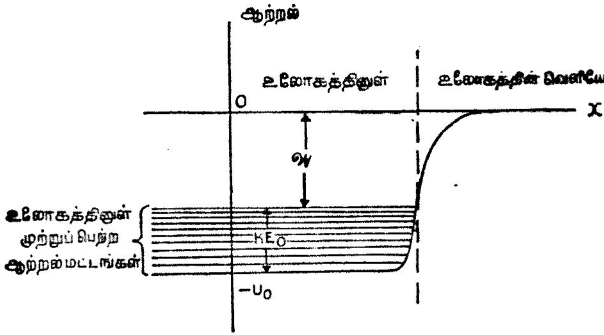
படம் 14-4

கட்டுரு லிதியம் அணுவின் புற எலெக்ட்ரான் மேகம். உலோக லிதியத்தில் அருகிலுள்ள மற்ற லிதியம் அணுக்களின் நிலைகள் X-களால் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

அளவும் மேலும் அதிகமாகிறது. இதனால் அது தொலைவிலுள்ள அண்டை அணுக்கருக்களுக்கும் அருகே அமைய ஏதுவாகிறது. இத்தகைய விளைவு எலெக்ட்ரான் மேகத்தை மேலும் விரிவடையச் செய்கிறது. இறுதியாக ஒவ்வொரு புற எலெக்ட்ரான் அலையும் படிக முழுவதற்கும் சீராகப் பரவுகிறது! இவ்வாறாக ஒற்றை

எலெக்ட்ரான் மேகம் ஒன்று எம்பயர் ஸ்டேட் கட்டிடம் போலவோ, மிக நீண்ட கம்பிபோலவே பெரியதாக இருக்கலாம்.

ஒரு எலெக்ட்ரான் மீதுள்ள அணுக்கருக்களின் ஈர்ப்புவிசைகளை ஏறத்தாழ ஒரு சீரான ஈர்ப்பியல் நிலையாற்றலைக் குறிக்கும் வகையில் சராசரிப்படுத்தலாம். அதன் மதிப்பை U_0 என அழைப்பதாகக் கொள்வோம். இந்தச் சராசரி நிலையாற்றலைக் குறித்து பெறப்படும் வரைபடம் நிலையாற்றல் கிணறு (potential well) எனப்படும்; அதனைப் படம் 14-5-ன் காணலாம். ஒவ்வொரு



படம் 14-5

தொடர்கோடு எலெக்ட்ரான் ஒன்று உலோகப் பரப்பைக் கடக்கும்போது அதன் தோராயமான நிலையாற்றலைக் குறிக்கிறது.

எலெக்ட்ரானும் இந்த நிலையாற்றல் கிணற்றினுள் அமைந்த நிலை அலை ஒன்றினுல் குறிக்கப்படுகிறது. முன் இயலில் கூறப்பட்டுள்ள புனைவியல் எடுத்துக்காட்டான பெட்டியினுள் அடைபட்டுள்ள எலெக்ட்ரான் அந்த அளவுக்குப் புனைவியலாக இல்லை என்பதைக் காணலாம் உலோகங்கள் ஏன் மின்சாரத்தைக் கடத்துகின்றன; மற்ற பொருட்கள் ஏன் கடத்துவதில்லை (அல்லது ஏறத்தாழ கடத்துவதில்லை) என்பதற்கான நேரிய (பொருத்தமான) விளக்கத்தைக் குவாண்டம் கொள்கை அளிக்கிறது என்பதை நாம் உணரலாம். உலோகங்கள் ஒரு அணுவுக்குக் குறைந்தது ஒரு 'கட்டுறு' எலெக்ட்ரானையாவது பெற்றுள்ளதென்பது எலெக்ட்ரான்களின் அலைத்தன்மையினுலேயாகும். இந்த 'கட்டுறு' அல்லது கடத்துகை எலெக்ட்ரான்கள் (conduction electrons) எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட அணுவுடனும் பிணைந்திராது. பக்கம் 261-ல் கூறியுள்ளவாறு உலோகத்தில் எங்கு வேண்டுமானுலும் தடையின்றி செல்லுமாறு அமைந்துள்ளன. அயனி மற்றும் சகபிணைப்பியல் படிகங்களில் புற எலெக்ட்ரான்கள் அவற்றிற்குரிய

அணுக்களுடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன எனவே. பொதுவாக இப் படிகங்கள் மின்சாரத்தைக் கடத்துவதில்லை. அவை கடத்தாப் பொருள்கள் (insulators) எனப் பெயர் பெறுகின்றன தூய உலோகப் படிகங்கள் மற்ற தூய படிகங்களைப்போல் 10^{24} மடங்கு இகைப்புத்திறனைப் (conductivity) பெற்றிருத்தலை பேரியல் குவாண்டம் விசையியல் நிகழ்ச்சியாகக் கருதவேண்டும்.

14–3 எலெக்ட்ரானிய ஃபெர்மி வாயு (Fermi Gas of Electrons)

இடப்பொருளில் பொதிந்துள்ள தனிச்சிறப்பு வாயு

V பருமனுள்ள ஒரு உலோகத்தை N எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ள V பருமனுள்ள ஒரு பெட்டியாகக் கருதலாமென நாம் அறிந்துள்ளோம். தவிர்க்கைத் தத்துவத்தின் பயனும் சமன் 13-1-ஆல் குறிக்கப்படும் நிலைகள் ஒவ்வொன்றிலும் அவற்றுள் இரு எலெக்ட்ரான்கள் அனுமதிக்கப்படும். இந்த N எலெக்ட்ரான்கள் யாவும் சிறும ஆற்றல் நிலைகளில் குவிய முயன்று ஃபெர்மி வாயு எனப்படும் ஒன்றை உருவாக்குகின்றன. அத்தகைய வாயு முது கொள்கையிலல்லாத சில வியத்தகு பண்புகளைக் கொண் டுள்ளது. அவற்றை முதன் முதலாக என்ரிக்கோ ஃபெர்மி (Enrico Fermi) சுட்டிக் காட்டினர். இந்த N எலெக்ட்ரான்கள் சிறும ஆற்றல் நிலையிலிருந்து KE_0 ஆற்றலையுடைய ஃபெர்மிநிலை எனப்படும் நிலை ஈருக உள்ள எல்லா நிலைகளையும் நிரப்பும். N-ன் மதிப்புத் தெரிந்தால் KE_0-ன் மதிப்பு கணக்கிடப்படவேண்டும். ஓரலகுப்பருமனில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையான $\mathcal{N}$ -ன் அடிப்படையில் KE_0-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடும் முறையை இவ்வியலின் பின் இணைப்பில் காணலாம். KE_0-ன் மதிப்பு

ஃபெர்மி மட்டத்தின் ஆற்றல்

$$KE_0 = \frac{h^2}{8m}\left(\frac{3}{\pi}\mathcal{N}\right)^{2/3} \qquad (14.1)$$

ஆகும். $\mathcal{N}$ என்பது ஒரு கன சென்டிமீட்டரிலுள்ள கட்டுறு (Force) எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை KE_0-ன் மதிப்பு உலோகத் துண்டின் குறிப்பிட்ட வடிவம் அல்லது பருமனைப் பொறுத்ததல்ல என்பது தெளிவு. அது கட்டுறு ஈலெக்ட்ரான்கள் எவ்வளவு நெருக்கமாகக் குவிந்துள்ளன என்பதை மட்டுமே பொருத்துள்ளது.

மாதிரிக் கணக்கு

லிதியத்தின் அடர்த்தி 0.534 கி./க. செ.மீ. லிதியத்தில் கடத்

துகை எலெக்ட்ரான்களின் ஃபெர்மி மட்டத்தின் ஆற்றல் எத்தனை எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள்?

இங்கு $\mathcal{N}$ என்பது ஒரு கன சென்டிமீட்டரில் உள்ள அணுக்களின் மொத்த எண்ணிக்கை லிதியத்தின் அணு எடை 6.94 ஆதலால் 6.94 கிராம் லிதியத்தில் $N_0 = 6.02 \times 10^{23}$ அணுக்கள் இருக்கும். எனவே, ஒரு கன சென்ட்டிமீட்டரில் $N = 0.534/6.94 \times 6.02 \times 10^{23} = 4.63 \times 10^{22}$ கட்டுறு எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கும்.

$$KE_0 = \frac{h^2}{8m}\left(\frac{3 \times 4.63 \times 10^{22}}{\pi}\right)^{2/3} = 7.55 \times 10^{-12} \text{ எர்குகள்}$$

$$KE_0 = 4.7 \text{ ev}$$

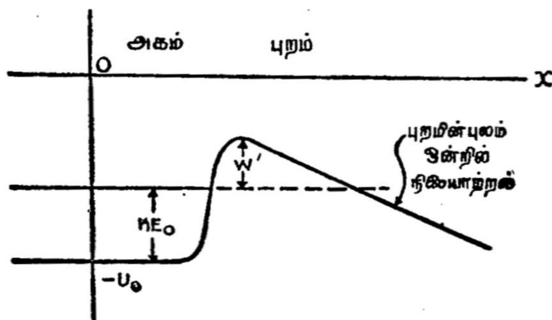
14-4 வெப்பநிலை அயனி வெளியீடு

பெட்டியிலிருந்து தப்புவது எப்படி

உலோகம் ஒன்றின் விளிம்பில் ஒரு எலெக்ட்ரான்மீது செயற்படும் தோராய மின்னழுத்தத்தைப் படம் 14-5-ல் காணலாம். சுழி ஆற்றலை உலோகத்தின் புறத்தே ஓய்வில் இருக்கும் கட்டுறு எலெக்ட்ரான் ஒன்றின் ஆற்றலென நாம் வரையறுக்கின்றோம். எலெக்ட்ரானிய ஃபெர்மி வாயுவின் ஆற்றல் மட்டங்களை மின்னூற்றல் கிணற்றின் அடியில் $-U_0$-லிருந்து தொடங்கி KE_0 ஆற்றல் வரை வரையப்பட்ட மெல்லிய கிடைக் கோடுகள் குறிக்கின்றன. இனி உலோகத்திலிருந்து ஒரு எலெக்ட்ரானை வெளியேற்றுவதற்குத் தேவையான சிறும ஆற்றல் $U_0 - KE_0$ ஆகும். இந்த ஆற்றல் ஒளி மின்விளைவுப் பகுதியில் வரையறுக்கப்பட்ட வெளியேற்று ஆற்றல் $\mathcal{W}$ ஆகும். உண்மையில் மெய்ச்சுழியில் மட்டுமே நுட்பமாக வரையறுக்கப்பட்ட வெளியேற்று ஆற்றல் உள்ளது. குறிப்பிடத்தக்க எண்ணிக்கையுடைய எலெக்ட்ரான்கள் அவற்றின் ஃபெர்மி ஆற்றலோடுகூட வெப்பநிலை ஆற்றலையும் பெற்றிருப்பதற்கேற்ப T டிகிரி மெய் வெப்பநிலையில் எலெக்ட்ரான்கள் வெப்பச் சமநிலையில் உள்ளன. இயல் 6-ல் நிறுவியுள்ளபடி, முது கொள்கைப்படி வாயுவின் ஒரு துகளுக்கான சராசரி வெப்பநிலை ஆற்றல் $(3/2)kT$ ஆகும். ஃபெர்மி வாயுவில் KE_0-க்கு அணுக்மான இயக்க ஆற்றல்களையுடைய துகள்கள் மட்டுமே வெப்பநிலை ஆற்றலைப் பெறமுடியும். எனவே சில எலெக்ட்ரான்கள் $(KE_0 + kT)$ அளவு உயர்ந்த இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். எனினும்

அறை வெப்பநிலையில் kT-ன் மதிப்பு 0.025 ev ஆகும்; ஆனல் KE_0, W ஆகியவற்றின் மதிப்போ பல எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் அளவில் இருக்கும். KE_0-ஐ விடக் குறைந்த இயக்க ஆற்றலை உடைய எலெக்ட்ரான்கள் வெப்பவியல் மோதல்களால் ஆற்றலைப் பெறுவதினின்றும் தவிர்க்கப்படுகின்றன: ஏனெனில் அத்தகைய எலெக்ட்ரான் ஒன்றுக்குக் கிடைக்கக்கூடிய, அருகிலமைந்த, வெறுமையான ஆற்றல் நிலைகள் இருப்பதில்லை. இவ்வாருக அத்தகைய எலெக்ட்ரான் அது செல்வதற்குரிய இடம் ஏதும் இல்லையாதலால் இருக்கும் இடத்திலேயே இருக்குமாறு வலியுறுத்தப்படுகிறது

உலோகத்திலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை ஈர்க்கமுயலும் ஒரு மின்புலம் செயற்படுத்தப்படுமாஞல் மாருத எலெக்ட்ரான்களின் மின்னேட்டம் ஒன்று உண்மையிலேயே உலோகத்தை விட்டுச் செல்கிறது. சீரான மின்புலம் E-ஞல் விளையும் நிலையாற்றல் $U = -eEx$ ஆகும். கடத்துகை எலெக்ட்ரான் ஒன்று உணரக்



படம் 14-6

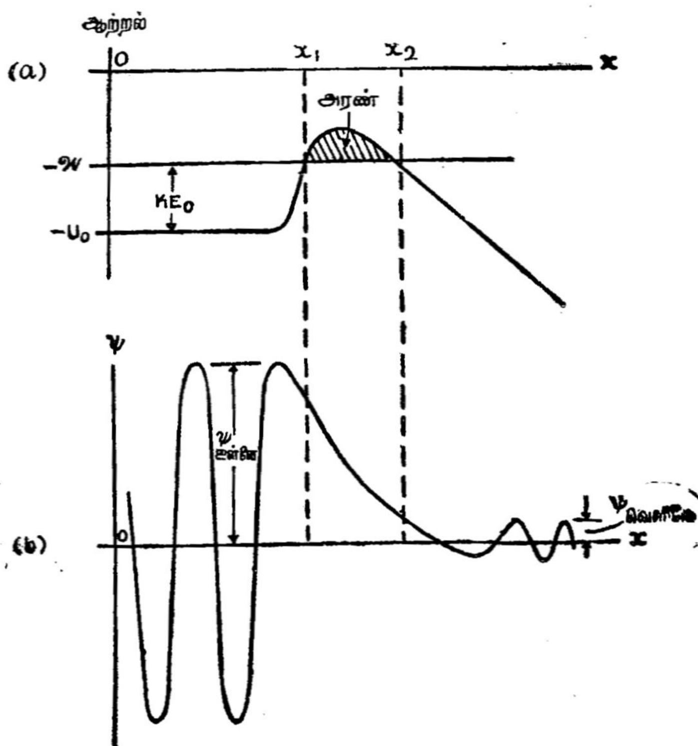
புறமின்புலத்தைத் தவிர படம் 14-5-ன் அமைப்பையே கொண்டது.

கூடிய மொத்த மின்னழுத்தத்தைப் படம் 14-6-ல் காணலாம். W'-ஐ விட அதிகமான வெப்ப ஆற்றலையுடைய அந்தச் சில எலெக்ட்ரான்கள் அவற்றின் உலோகச் சிறையிலிருந்து தப்பமுடியும் என்பதை நாம் காணலாம். இந்நிகழ்ச்சி வெப்பநிலை அயனி வெளியீடு எனப்படுகிறது. வெப்பநிலையைச் சற்று அதிகரிக்கும் பொழுது எலெக்ட்ரான் வெளியீடு பெருமளவு அதிகமாகும் என நாம் கருதலாம். இதன் பயஞகவே எலெக்ட்ரானியல் வால்வுகளில் கேதோடுகள் சூடேற்றப்படுகின்றன.

14-5 அரண் ஊடுருவல் (Barrier Penetration)

திண்சுவற்றை ஊடுருவது எப்படி

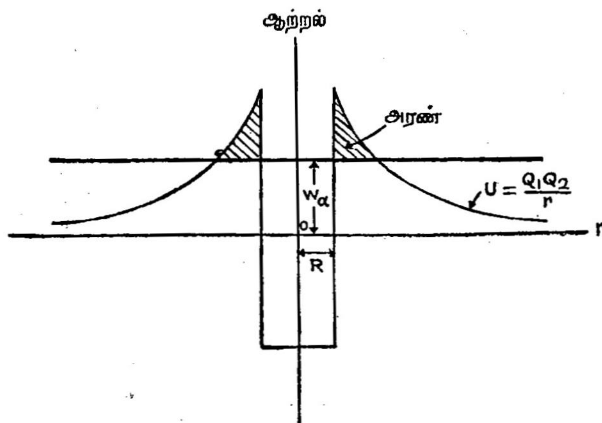
எந்த எலெக்ட்ரானும் W' அளவு உயர்ந்த வெப்பவியல் ஆற்றல்களைப் பெற்றிராத மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையிலும்கூட சிறு எலெக்ட்ரான் ஓட்டம் ஒன்று வெளிவிடப்படுவது காணப் பட்டது. இந்நிகழ்ச்சி முது பௌதிகத்திற்கு மிகத் தெளிவாக முரண்படும் ஒரு முக்கியமான குவாண்டம் விசையியல் நிகழ்ச்சிக் கான எடுத்துக்காட்டாகும். இது புல வெளியீடு (Field emission) என அழைக்கப்படுகிறது. கருத்தைக் கவரும் இந்நிகழ்ச்சி நிலை யாற்றல் அரண் வழியான குவாண்டம் விசையியல் ஊடுருவ லாகும். இந்த எடுத்துக்காட்டில் W' உயரமுள்ள நிலையாற்றல்



படம் 14-7

(a) படம் 14-6-ல் உள்ள அதே நிலையாற்றல்.
(b) (—W) ∴பெர்மி ஆற்றலையுடைய அக எலெக்ட்ரானின் மேற்கூறப்பட்ட நிலையாற்றலுக்குரிய அலைவம்.

அரணை எடுத்துக் கொண்டுள்ளோம் (படம் 14-7) முது கொள்கைப்படி உலோகத்தினுள் KE_0 இயக்க ஆற்றலையுடைய ஒரு எலெக்ட்ரான் x_1 நிலையில் சுழி இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். எனவே உலோகத்தின் ஈர்ப்பியல் மின்னழுத்தம் (Attractive potential) அதனை மீண்டும் உள்ளிழுத்துக்கொள்ளும் முதுகொள்கைப்படி எந்த எலெக்ட்ரானும் அரணின் வழியாக என்றுமே ஊடுருவ முடியாது. x_1-க்கும் x_2-க்கும் இடையிலுள்ள பகுதியில் முதுகொள்கை எலெக்ட்ரான் ஒன்று எதிரின இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும்; முதுகொள்கைப்படி இது இயலாததொன்று. எனினும், இப்பகுதியில் எலெக்ட்ரான் அலை இருக்கமுடியும் என்பதை ஷ்ரோடிஞ்சர் சமன்பாட்டிலிருந்து நாமறிவோம். அது, படம் 14-7-ல் காட்டியுள்ளவாறு x அச்சிலிருந்து வளைந்து செல்லவேண்டும். இப்படத்தில், உலோகத்திற்கு வெளியே எலெக்ட்ரானைக் காண்பதற்கு ஓரளவு நிகழ்திறன் இருப்பதைக் காணலாம். குவாண்டம் விசையியலின்படி ஒரு குறிப்பிட்ட எலெக்ட்ரான் அரணுடன் மோதும் ஒவ்வொரு முறையும் அதனை ஊடுருவதற்குரிய வாய்ப்பு ψ_{out}^2/ψ_{in}^2 ஆக இருக்கவேண்டும். வட்டில் ஒன்றினுள் உருளும் கழங்கு நிலையாற்றல் அரணுக்கான முதுகொள்கை எடுத்துக்காட்டாகும். வட்டிலின் விளிம்பிலிருந்து ஒரு கழங்கு விடுவிக்கப்பட்டால் அது மேலும் கீழும் உருளுமே யொழிய ஒருபோதும் வெளியேறாது. ஆனால் குவாண்டம் விசையியலின்படி கழங்கு வெளியேறுவதற்கு மிகச்சிறிய நிகழ்திறன் ($10^{(10^{26})}$-ல் ஒரு வாய்ப்பு) உள்ளது.



படம் 14-8

R ஆரமுள்ள அணுக்கருவினுள் "பிடித்து வைக்கப்பட்டுள்ள" ஆல்ஃபாத் துகள் ஒன்றின் நிலையாற்றல், அணுக்கருவினின்றும் தப்பிச் சென்றபின் அதன் நிலையாற்றல் W_α ஆகும்.

இந்த அரண் ஊடுருவல் நிகழ்ச்சியே சில எடைமிக்க தனிமங்கள் α-துகளாக (ஹீலியம் அணுக்கரு) வும் எஞ்சியதொரு அணுக்கருவாகவும் சிதைவுறும் இயற்கைக் கதிரியக்கச் சிதைவு நிகழ்ச்சிக்கு விளக்கம் கூறுகிறது. α-துகளானது அணுக்கருவினுள் மிக்க வலிமையுடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. α-துகளைப் பிணைக்கும் நிலையாற்றல் படம் 4-8-ல் காட்டப்பட்டுள்ள ஆழமுள்ள 'கிணறு' ஆகும். அணுக்கரு ஆரமான R-க்கு வெளியே நிலையாற்றலானது Q_1Q_2/r என்ற நிலைமின் நிலையற்றலாகும்; Q_1 என்பது α-துகளின் மின்னூட்டம், Q_2 என்பது எஞ்சிய அணுக்கருவின் மின்னூட்டம். எனினும் இத்தகைய பெரும் அரண் இருப்பினும் α-துகள்கள் எப்படியோ ஊடுருவி வெளியேறுவதை நாமறிவோம். காட்டாக U^{238} அணுக்கருவில் அரண் ஊடுருவல் அல்லது கதிரியக்கச் சிதைவுக்கு 4.5 பில்லியன் ஆண்டுகளில் 50% வாய்ப்பு உள்ளது. இவ்வாறாக U^{238}-ன் கதிரியக்க அரைவாழ்வு 4.5×10^9 ஆண்டுகளாகும். நாம் வாழும் புவி ஏறத்தாழ இதே வயதுடையதாயிருப்பதால் அதில் இன்னமும் மிக அதிகமான U^{238} உள்ளது. 92-ஐவிட Z மதிப்பையுடைய ஐசோடோப்புகள் அதிக α-துகள் ஆற்றல்களை, அதன் பயனாய் சிறிய நிலையாற்றல் அரண்களை, எனவே மிகக் குறைந்த அரைவாழ்வுகளைப் பெற்றுள்ளன. இதன் காரணமாகவே அவற்றுள் எதுவும் இப்பொழுது புவியில் இயற்கையில் கிடைப்பதில்லை, கதிரியக்கத்தைப்பற்றி மேலும் விரிவாக அடுத்த இயலில் காணலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு

U^{238} அணுக்கருவின் ஆரம் 8.6×10^{-13} செ.மீ. அது சிதைவுறும்பொழுது 4.2 Mev ஆற்றலுள்ள α-துகள் ஒன்றை வெளிவிடுகிறது. அத் துகள் அணுக்கருவினுள் இருக்கும்பொழுது அது காணக்கூடிய நிலையாற்றல் அரண் எத்தனை Mev-க்கள்.

படம் 14-8-லிருந்து அரணின் உயரமானது Q_1Q_2/R, α-துகளின் ஆற்றல் ஆகியவற்றின் வேறுபாட்டிற்குச் சமம் என்பதைக் காணலாம். எனவே

$$W' = \frac{Q_1Q_2}{R} - 4.2 \text{ Mev}$$

$$Q_1 = 2e$$
$$Q_2 = 90e$$
$$R = 8.6 \times 10^{-13} \text{ செ.மீ}$$

$$\frac{Q_1Q_2}{R} = 4.82 \times 10^{-5} \text{ எர்குகள்} = 30.1 \text{ Mev}$$

$$W' = 25.9 \text{ Mev.}$$

14-6 மின் கடத்துதிறன்

பெரும் நிலையில் குவாண்டம் விசையியல்

களங்கமற்ற உலோகப்படிக அணிக்கோவையில் புற எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு பெட்டியினுள் அமைந்த கட்டுறு எலெக்ட்ரான்களைப் போல் செயற்படுகின்றன என்று நாம் கண்டோம். இந்த எலெக்ட்ரான்கள் மின்னோட்டத்தை விளைவிக்கக் கூடுமாதலால் முழுநிறைவான உலோகத்தின் மின்தடை சுழியாகும் என நாம் கருதலாம். எனினும் உண்மையான உலோகங்கள் தூய்மையற்றும் ஒருங்கற்ற அணிக்கோவைகளையுடையதாகவும் உள்ளன. கட்டுறு எலெக்ட்ரான்களைப் பெறுவதற்கு அணிக்கோவைகள் கலப்பில்லாமலும் ஒழுங்காகவும் இருக்கவேண்டுமாதலால் மேற்கூறப்பட்ட உண்மையான உலோகங்களில் எலெக்ட்ரான்கள் செயலெதிர்ச் செயற்பட்டு ஆற்றலை இழக்கக்கூடும். ஓம் அலகில் குறிக்கப்படும் மின்தடையானது ஒழுங்கற்ற அணிக்கோவைகளுடனும் மாசுக்களுடனும் எலெக்ட்ரான்களின் மோதல்களுக்கான சராசரித் தன்னுரிமைப் பாதையைப் பொறுத்துள்ளது. மின்தடையைப்பற்றிய இத்தகைய கொள்கையிலிருந்து இயல் 9-ல் 261-ம் பக்கத்தில் பெறப்பட்டதுபோல் ஓமின் விதியை எளிதாகப் பெறலாம். மின்தடையானது மின்னோட்டத்தின் மதிப்பைச் சற்றும் பொறுத்ததல்ல என்றும் வெப்பநிலையை மட்டுமே சார்ந்துள்ளது என்றும் ஓமின் விதி கூறுகிறது. மின்தடையானது வெப்பநிலையுடன் அதிகமாகிறது என்பதை மின்கடத்தலைப்பற்றிய இக்கொள்கையின் அடிப்படையில் எளிதாக அறியலாம். அணுக்களின் அலைவியக்கம் அணிக்கோவையின் ஒருங்கற்ற தன்மைக்கு ஒரு உள்ளார்ந்த காரணமாகும். அணுக்கள் மெய்ச்சுழி வெப்பநிலையில் இல்லாததன் காரணமாக அத்தகைய அலைவியக்கம் ஏற்படுகிறது. எனவேதான் அணுக்களின் வெப்பவியல் இயக்கம் அதிகமாகும் போது தூய்மையான உலோகம் ஒன்றின் மின்தடை அதிகமாக வேண்டும் என்று கூறப்பட்டது. வெப்பநிலை மெய்ச்சுழியை நெருங்கும்போது மின்தடையானது சுழியை நெருங்கவேண்டும் என்று இக்கொள்கை கூறுகிறது. இக்கூற்று சோதனை முடிவுகளுடன் பொருந்துகிறது.

மீக்கடத்து திறன் (Super conductivity)

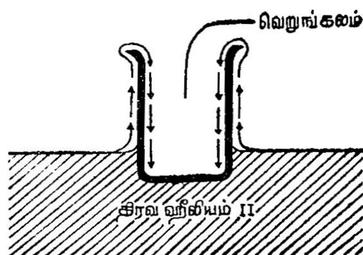
தூய உலோகம் ஒன்று மெய்ச்சுழியில் சுழிமின்தடை அல்லது வரம்பிலா கடத்து திறனைக் கொண்டிருக்கக்கூடும் என்ற கருத்தை மீக்கடத்து திறன் என்னும் குவாண்டம் நிகழ்ச்சியாகத் தவறாகக் கருதக்கூடாது. மீக்கடத்து திறன் என்பது மெய்ச்சுழியை விடப் பல டிகிரிகள் அதிக வெப்பநிலைகளில் உள்ள வரம்பிலா கடத்து

திறன் ஆகும். சில உலோகங்கள் மட்டுமே மீக்கடத்து திறன் என்னும் இத்தகைய வியத்தகு பண்பைப் பெற்றுள்ளன. மீக்கடத்தி ஒன்றில் ஒரு வட்ட மின்னோட்டம் தொடக் கப்படின் அம்மின்னோட்டமானது குளிருட்டும் அமைப்பு (Cooling system) செயலிழக்கும் வரைத் தொடர்ந்து நிகழவேண்டும். அத்தகைய மின்னுட்டங்கள் சோதனைக்கூடத்தில் பல ஆண்டுகள் நிகழ்ந்துள்ளன. மீக்கடத்து திறனுக்கான குவாண்டம் விசை யியல் விளக்கம் கொள்கையியல் திடநிலைப் பௌதிகத்தில் தற்போ துள்ள பிரசினைகளில் ஒன்ருகும். இத் தனிச் சிறப்பு நிகழ்ச்சியைப் புரிந்துகொள்ளும் முயற்சியில் அண்மையில் ஓரளவு முன்னேற்றம் ஏற்பட்டுள்ளது.

14-7 மீப்பாய்த்திறன் (Superfluidity)

குவளையை நிரப்ப எளிய வழி

மெய்ச்சுழிக்கருகில் நிகழும் மற்ருெரு வியத்தகு குவாண்டம் விசையியல் நிகழ்ச்சி திரவ ஹீலியத்தின் மீப்பாய்திறன் ஆகும். ஹீலியம் வாயு குளிர்விக்கப்பட்டால் 4.2° மெய்வெப்பநிலையில் அது திரவமாகிறது. அத்திரவம் மேலும் குளிர்விக்கப்பட்டால் 2.2° மெய்வெப்பநிலையில் அது திடீரெனத் தன் பண்புகளை மாற்று கிறது. அவ்வெப்பநிலையில் பொது அனுபவத்திற்கு முற்றிலும் மாருன பெருமளவு நிகழ்ச்சிகள் நிகழுகின்றன. காட்டாக. (ஹீலியம் II என அழைக்கப்படும்) இத்தகைய வியத்தகு திரவ ஹீலியத்தால் ஓரளவு நிரப்பப்பட்டு திறந்து வைக்கப்பட்ட கலம்



படம் 14-9

அம்புக் குறிகள் திரவ ஹீலியம் II காலிக்கலம் ஒன்றினுள் கலத்தின் சுவர்ப் பரப்பு வழியாகத் தவழ்ந்து செல்வதைக் குறிக்கின்றன, பரப்பு ஒரு வடிகுழாயைப்போல் செயலாற்றுகிறது.

விரைவிலேயே வெறுமையாகிவிடும். இதற்குப் பின்வருமாறு விளக்கங் கூறலாம். திரவ ஹீலியமானது கலத்தின் உட்புறக் சுவற்றில் (அது எவ்வளவு உயரமானலும்) மேல்நோக்கித் தவழ்ந்து

விளிம்பை அடைந்து புறச்சுவற்றில் கீழ்நோக்கித் தவழ்கிறது. அவ்வாறே எதிர்நிகழ்ச்சியும் நிகழ்கிறது (படம் 14-9). வெறுங் குவளை ஒன்றைத் திரவ ஹீலியம் II-ன் உள் ஓரளவு அமிழ்த்தினுல் வெளியில் திரவமட்டத்தின் அளவுக்குக் குவளையில் திரவம் நிரப்பும் வரை குவளையின் சுவற்றின் வழியே திரவம் விரைந்து தவழ்ந்து செல்லும். தூய திரவ ஹீலியம் II-ன் மற்றொரு வியத் தகு பண்பு யாதெனில் அது எப்பொருள் மீதும் விசையெதையும் செயற்படுத்த முடியாது. உயர் அழுத்தக் குழாயிலிருந்து பீறிடும் இத் திரவத் தாரை ஒன்று விளிம்பில் நிறுத்தப்பட்ட ஒரு நாணயத் தைக் கூடத் தள்ளமுடியாது. அத்திரவம் நாணயத்தின்மீது எந்த விசையையும் செயற்படுத்தாது அதனைச் சுற்றித் தடையின்றி பாய்ந்து செல்லும். திரவ ஹீலியம் II-ல் ஒரு மீன் நீந்தமுடியுமா? முடியாது. ஏனெனில் அது உறைந்துவிடும். உறையாத மீன் ஒன்று இருக்கமுடியுமாயினும் உந்தித் தள்ளுவதற்கு எதுவும் இல்லையாதலால் அதனுல் நீந்தமுடியாது. நியூட்டனின் முதல் விதிக்கு உட்படுவதே அது செய்யக்கூடிய காரியமாகும். ஹீலியம் II-ன் பாகியல் சுழி எனக் கொள்வதன்மூலம் பௌதிகர்கள் இந்த வியத்தகு பண்புகளைக் கணிதவியலாகக் குறித்துரைக்கிறுர்கள். பாகியல் ஏன் சுழியாக வேண்டும் என்பது ஆவலைத் தூண்டும் ஒரு புதிராகும். மீக்கடத்துதிறனைப் போலவே திரவஹீலியத்தின் பண்புகளும் இப்பொழுது தீவிரமாக ஆராயப்படுகின்றன. திரவ ஹீலியம் II-ன் மீப்பாய்திறனைப்பற்றிய கொள்கையறிவில் கணிச மான முன்னேற்றம் ஏற்பட்டுள்ளது.

14-8 குறைகடத்திகள் (Semi conductors)

வெப்பநிலை மிக, உரிமை வளரும்

சிலிகான், ஜெர்மேனியம் போன்ற சில அலோக (non metallic), சகப்பிணைப்பியல் படிகங்களில் புற எலெக்ட்ரான்களின் அலையங்கள் படிக முழுவதும் பரவாமல் அணுவின் மிக அருகிலுள்ள அண்டை அணுக்கள் வரைமட்டும் பரவியுள்ளன. எனினும், சிலிகானிலும் ஜெர்மேனியத்திலும் அணுவின் எலெக்ட்ரானின் முதல் கிளர்ச்சி நிலையானது படிகமுழுவதும் பரவச்செய்வதற்கேற்ப பெரிய அளவு எலெக்ட்ரான் மேகத்தைக் கொண்டுள்ளது. நாம் முன்னரே அறிந்தவாறு எலெக்ட்ரான் மேகமானது படிகத்தின் பல அணுக் களைச் சூழும் அளவிற்கு அதன் அளவு அதிகமாகும்போது அதன் அலையம் படிகமுழுவதும் பரவுகிறது. எல்லா எலெக்ட்ரான்களையும் அடி ஆற்றல் நிலைகளில் கொண்டுள்ள சிலிகானும் ஜெர்மானியமும் சகப்பிணைப்பியல் படிகங்கள் அல்லது கடத்தாப் பொருள்களாகும். எனினும் புறஎலெக்ட்ரான்களுள் சிலவற்றை கடத்துகைப் பட்டை

(conduction band) என அழைக்கப்பெறும்) அடுத்த உயர் ஆற்றல் நிலேக்குக் கிளர்ச்சியூட்டிஞல் அவைத் திடீரெனக் கட்டுரு எலெக்ட்ரான்களாக மாறுவதால் படிகம் மின்னேட்டத்தைக் கடத்தவல்லதாகிறது. ஜெர்மானியத்தில் புற எலெக்ட்ரான் ஒன்றைக் கடத்துகைப் பட்டைக்குக் கிளர்ச்சியூட்ட 0.72 ev ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. அறைவெப்பநிலேயில் ($kT = 0.025$ ev) மிகமிகக் குறைந்த எலெக்ட்ரான்கள் மட்டுமே இந்த அளவு வெப்பவியல் ஆற்றலேப் பெற்றிருக்கும். எனினும் குறைந்தது ஏதோ சில கடத்துகை எலெக்ட்ரான்கள் இருக்குமாதலால் ஜெர்மானியத்தின் கடத்து திறனுனது கடத்தாப்பொருள் அல்லது மெய்ச்சுழியிலுள்ள ஜெர்மானியம் ஆகியவற்றின் கடத்துதிறனேப்போல் பன்மடங்கு இருக்கும். இக்கருத்து ஜெர்மானியம் குறைகடத்தி என அழைக்கப் பெறுவதற்கான காரணத்தை விளக்குகிறது.

குறைகடத்தியில் இருக்கச்கூடிய சிறு அளவு கலப்பானது அதன் கடத்துதிறனே மிகவும் அதிகரிக்கக்கூடும். காட்டாக, அறை வெப்பநிலேயில், மில்லியனில் ஒரு சில பகுதிகள் ஆர்சனிக் கலப்பானது ஜெர்மானியத்தின் கடத்துதிறனே 1000 மடங்கு அதிகரிக்கக்கூடும். ஆர்சனிக், ஜெர்மானியம் ஆகியவற்றின் எலெக்ட்ரான் அமைப்புக்களே (அட்டவணே 13-1) ஒப்பு நோக்குவோமாயின் மேற்கூறிய கருத்து நியாயமானதாகத் தோன்றும். ஆர்சனிக் ஜெர்மானியத்தைவிட ஒரு எலெக்ட்ரானே அதிகமாகக் கொண்டுள்ளது. தவிர்க்கைத் தத்துவத்தின்படி இந்த எலெக்ட்ரான் அடுத்த உயர் ஆற்றல் நிலேயில் இருக்கவேண்டும். எனவே ஜெர்மானிய படிகம் ஒன்றில் பொதிந்துள்ள ஆர்சனிக் அணு ஒன்றின் புறஎலெக்ட்ரான் கடத்துகைப் பட்டையில் இருந்தாகவேண்டும், ஜெர்மானியம், வேண்டுமென்றே குறிப்பிட்ட ஓரளவு ஆர்சனிக் கலப்புடன் உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது. இது n வகை ஜெர்மானியம் எனப்படுகிறது (n எதிரினத்தைக் குறிக்கிறது). ஜெர்மானியப் படிகங்கள் காலிய (Gallium)க் கலப்புடனும் உருவாக்கப்படுகின்றன. காலியம் அணுவானது அருகிலுள்ள ஜெர்மானியம் அணுவிலிருந்து ஒரு எலெக்ட்ரானே எடுத்துக் கொள்கிறது. இதன் பயனுய் ஜெர்மானியம் அணுவில் உருவான எலெக்ட்ரான் துளே (electron hole) யானது அந்த அணுக்களிடையே இயங்குகிறது. இந்த மின்துளேகள் மின்னேட்டத்திற்கான நேரின ஊர்தி (positive carrier) யாகச் செயலாற்றுகின்றன. காலியக் கலப்புள்ள ஜெர்மானியம் p வகை ஜெர்மானியம் என அழைக்கப்பெறுகிறது, (p நேரினத்தைக் குறிக்கிறது).

p-வகை, n-வகைக் கலப்புப் பகுதிகளே அடுத்தடுத்துக் கொண்

டுள்ள ஒரு குறைகடத்தி p-n சந்தி எனப்படும். அத்தகைய குறைகடத்தியானது தனிச்சிறப்பியல்பு ஒன்றைக் கொண்டுள்ளது. அதாவது ஒரு திசையிலுள்ளதைவிட எதிர்த்திசையில் நூற்றுக் கணக்கான மடங்கு அதிக மின்தடையைப் பெற்றுள்ளது. அத்தகைய கருவி படிக டையோடு (crystal diode) என அழைக்கப் பெறுகிறது. அதன் மின்சாரப்பண்புகள் டையோடு மின்குழாயின் பண்புகளை ஒத்துள்ளன. 1949-ல் J. பார்டீன் (J. Bardeen), W. H. பிராட்டெயின் (W. H. Brattain), W. ஷாக்லி (W. Shockley) ஆகியோர் டிரையோடு மின்குழாயைப்போல் செயலாற்றும் படிகம் ஒன்றைக் கண்டுபிடிக்கும் அளவுக்குக் குறைகடத்திகளைப் பற்றி மிக நன்ருக அறியப்பட்டிருந்தது. அதன் பின்னர் இப்போது டிரான்ஸிஸ்டர் (transister) என அழைக்கப்படும் குறைகடத்திப் படிகங்களை உற்பத்தி செய்யத் தொடங்கினர். பெருமளவு தொழில் நுணுக்க முக்கியத்துவம் வாய்ந்த இந்த முன்னேற்ற மானது கடத்திகள் மற்றும் குறைகடத்திகளைப்பற்றிய கொள்கை யின் தெள்ளிய அறிவினுலன்றி ஒருபோதும் இயலாது. ஒரு டிரான்ஸிஸ்டர் மூன்று இணைப்பு முனைகளோடு கூடிய p-n-p அல்லது n-p n சந்தியைக் கொண்டுள்ளது. பல எலெக்ட்ரானியல் சுற்றுக்களில் டிரையோடு மின்குழாய்களுக்குப் பதிலாக இந்தச் சிறிய டிரான்ஸிஸ்டர்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவற்றில் சூடேற்றப்பட்ட கேதோடு இல்லாதது ஒரு அனுகூலமாகும். மேலும் இவற்றைக் குறைந்த மின்னழுத்தங்களில் சிறிய பாட்டரி களின் உதவியால் இயக்கலாம்.

குறைகடத்திகளின் மற்றெரு முக்கிய பண்பு ஒளிமின்கடத்து திறனாகும் (photo conductivity). இச்செயல் முறையைத் திடப் பொருள் ஒன்றில் முற்றிலும் பொதிந்துள்ள ஒளிமின் விளைவாகக் கருதலாம். கண்ணுறு அலைமாலை (புறச்சிவப்பிலும்கூட) உள்ள ஃபோட்டான்கள் அடிநிலையிலுள்ள புற எலெக்ட்ரான்களால் உட் கவரப்படலாம். அத்தகைய எலெக்ட்ரான் ஃபோட்டானின் ஆற்றலை அதிகமாகப் பெறுகிறது. இந்த அதிக ஆற்றல் அதனைக் கடத்துகைப் பட்டைக்கு உயர்த்துவதற்குப் போதுமானதாக உள்ளது. கடத்தி ஒளிமின்கலம் ஒன்றின்மீது ஒளி விழுமாயின் அதன் மின்தடைத் திடீரெனக் குறைகிறது.

குறைகடத்திகளின் பல பயன்களுள் மற்றென்று சூரிய ஒளி மின்கலமாகும். படிகடையோடு ஒன்றின்மீது ஒளி விழுமாயின் எலெக்ட்ரான் துளைகளும் கட்டுறு எலெக்ட்ரான்களும் உருவாக்கப் படுகின்றன. எனினும் p-n சந்திவழியே இருதிசைகளில் மின்

ஞேட்டத்திற்கான தடைகளில் பெருமளவு வேறுபாடு இருப்பதால் இவற்றின் மின்ஞேட்டங்கள் சரிசீரமைவாயிரா. எனவே ஒரு திசையில் அதிக எதிர்மின்னூட்டமும் எதிர்த்திசையில் அதிக நேர்மின்னூட்டமும் செல்லும்: ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடும் உருவாக்கப்படும்.

பின் இணைப்பு

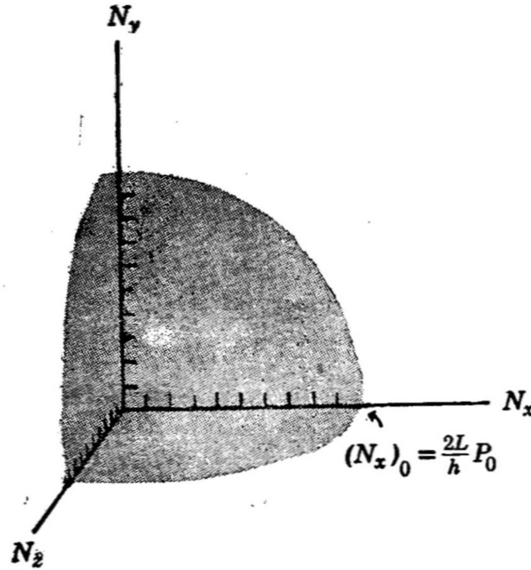
ஃபெர்மி ஆற்றல் கணக்கீடு

மெய்ச்சுழியில் $L \times L \times L$ கன செண்டிமீட்டர் பருமனுள்ள கனசதுரப் பெட்டி ஒன்றைக் கருதுவோம். ஒற்றை எலெக்ட்ரான் ஒன்று இப்பெட்டியினுள் வைக்கப்படுமாயின் அது கதிர்வீச்சை வெளிவிட்டு சிறும ஆற்றல் மட்டத்தை விரைந்து அடையும். இரண்டாவது எலெக்ட்ரானும் அதே ஆற்றல் மட்டத்தை அடையும். மூன்ருவதொரு எலெக்ட்ராஞே தவிர்க்கைத் தத்துவத்தின் பயனுய் அதைவிட உயர்ந்த, இரண்டாவது ஆற்றல் மட்டத்தை அடையும். ஐந்தாவது எலெக்ட்ரான் ஒன்று மூன்ருவது ஆற்றல் மட்டத்தை அடையும். அப் பெட்டியினுள் மொத்தம் N எலெக்ட்ரான்கள் இருப்பின் $(N/2)$-வது ஆற்றல் மட்டத்தின் இயக்க ஆற்றலே ஃபெர்மி ஆற்றலாகும். பக்கம் 378-ல் ஒற்றைப் பரிமாணப்பெட்டி வகையில் செய்தது போலவே இப்பொழுது நாம் மேற்கூறப்பட்ட ஒவ்வொரு ஆற்றல் மட்டத்திற்கும் உரிய எலெக்ட்ரான் அலைகளைக் கருதுவோம். இந்த முப்பரிமாண வகையில் ஒரு குறிப்பிட்ட எலெக்ட்ரான் அலையானது N_x, N_y, N_z என்ற மூன்று குவாண்டம் எண்களால் குறிப்பிடப்படுகிறது. பக்கம் 378-ல் கூறியுள்ளபடி N_x என்பது x திசையில் உள்ள நிலை அலைகளின் எண்ணிக்கையாகும். அதன் மதிப்பு

$$N_x = \frac{2L}{h} P_x$$

ஆகும்; P_x என்பது எலெக்ட்ரான் உந்தத்தின் x ஆக்கக்கூறு ஆகும். $KE_0 = P_0{}^2/2m$ என்பது ஃபெர்மி ஆற்றலைக் குறிக்குமாயின் பெட்டியிலுள்ள N எலெக்ட்ரான்களுள் எந்த ஒரு எலெக்ட்ரானுக்கும் P_x-க்கு இருக்கக்கூடிய பெருமதிப்பு P_0 ஆகும். இந்நிலையிலும் முற்றுப்பெற்ற ஆற்றல் நிலைக்குரிய N_x-ன் பெரும மதிப்பு $(N_x)_0 = 2LP_0/h$ ஆகும். இவ்வாறே N_y, N_z ஆகியவற்றின் பெரும மதிப்புக்களையும் பெறலாம். முற்றுப்பெற்ற நிலைகளின் மொத்த எண்ணிக்கையை அறிய N_x, N_y, N_z ஆகிய மூன்று எண்களின் $2LP_0/h$ வரையிலுள்ள சேர்வகைகள் (Combinations) யாவற்றையும் எண்ண வேண்டும். அவ்வாறு எண்ணுவது

படம் 14-10-ன் உதவியாலன்றி மிகவும் கடினம். இப்படத்தில் வசதிக்காக x-அச்சு, y அச்சு, z-அச்சு ஆகியவற்றின் வழியே 1 செ.மீ. இடைவெளிகளில் முறையே N_x, N_y, N_z ஆகியவற்றைக் குறித்துள்ளோம். இனி, ஒவ்வொரு நிலையும் (அல்லது மூன்று எண்களின் சேர்வகை) வெளியிடத்தில் சிறப்பொரு (Unique) புள்ளியாகக் குறிக்கப்படுகிறது. இப் புள்ளிகள் 1 செ.மீ. கன



படம் 14-10

$R = \dfrac{2L}{h} P_0$ ஆரமுள்ள கோளததின் மேல் கால் பகுதி.

சதுரங்களின் அணிக்கோவை ஒன்றை உருவாக்குகின்றன. எத்தனை புள்ளிகள் இருக்கின்றனவோ அத்தனைக் கன சதுரங்கள் இருப்பதைக் காணலாம். இப்பொழுது, முற்றுப்பெற்ற நிலைகள் $R = 2LP_0/h$ ஆரமுள்ள கோளத்தினுள் அமையும் என்ற உண்மை யைக் கருதுவோமாயின் முற்றுப்பெற்ற நிலைகளின் மொத்த எண்ணிக்கைப் படம் 14-10-ல் உள்ள கோளகப் பரப்பால் சூழப் பட்ட 1 செ.மீ கன சதுரங்களின் எண்ணிக்கையாகும். படத்தில் காட்டப்பட்டு கோளப் பகுதியின் பருமன் முழுக்கோளத்தின் எட்டிலொரு பகுதியாதலால் நிலைகளின் மொத்த எண்ணிக்கை =

$$\frac{1}{8} \times \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{1}{6} \pi \left(\frac{2LP_0}{h} \right)^3 = \frac{4\pi L^3 P_0^3}{3h^3}$$

ஒவ்வொரு நிலையிலும் இரு எலெக்ட்ரான்கள் இருப்பதாலும் பெட்டியின் பருமன் $V = L^3$ ஆதலாலும்

$$N = \frac{8\pi V P_0{}^3}{3h^3}$$

எனவே

$$P_0 = \left(\frac{3h^3 N}{8\pi}\right)^{1/3}$$

இதனை $KE_0 = P_0{}^2/2m$-ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$KE_0 = \frac{h^3}{8m}\left(\frac{3}{\pi}\mathcal{N}\right)^{2/3};$$

$\mathcal{N}$ என்பது $\frac{N}{V}$-ஐக் குறிக்கிறது.

கணக்குகள்

1. வெப்பநிலை அதிகமாகும்பொழுது குறைகடத்தியின் மின்தடை அதிகமாகுமா? குறையுமா?

2. தூய உலோகம், குறைகடத்தி ஆகியவற்றுள் எதன் மின் தடை வெப்பநிலை அதிகமாகும்பொழுது விரைவில் மாறும்?

3. ஒரு கிராம் சோடியத்தில் எத்தனைக் கடத்துகை எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன? மில்லியனுக்கு நான்கு ஆர்சனிக் கலப்புள்ள ஜெர்மானியத்தின் ஒரு கிராமில் எத்தனைக் கடத்துகை எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன?

4. ஒரு சென்டிமீட்டர் விட்டமுள்ள ஒரு கலத்தில் 5 செ.மீ. உயரத்திற்குத் திரவ ஹீலியம் II உள்ளது. கலத்தின் மூடி திறக்கப்பட்டபின் எவ்வளவு நேரத்தில் அத்திரவம் வெளியேறும்? திரவத்தின் ஊர்வு வேகம் (Ceep velocity) 50 செ.மீ./வி திரவ ஏட்டின் தடிப்பு 10^{-5} செ.மீ.

5. புவிப்பரப்பில் சூரியக் கதிர்வீச்சு 2 கேலரிகள்/நிமிடம்/செ.மீ.^{2} ஆகும். 100 வாட் மின்திறனை உருவாக்க 20% இயக்கு திறம் உள்ள சூரிய மின்கலத்தின் பரப்பளவு எவ்வளவு இருக்க வேண்டும்?

6. ஒரு குறிப்பிட்ட உலோகத்தின் எலெக்ட்ரான்களுக்கான ஈர்ப்பியல் நிலையாற்றல் U_0 ஆகும். உலோகத்திற்கு வெளியே யுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட எலெக்ட்ரான் $\lambda = 10A$ அலை நீளத்தைக்

கொண்டுள்ளது. அது உலோகத்தை அடையும்பொழுது அதன் அலை நீளம் 4A-ஆகக் குறைகிறது. U_0-ன் மதிப்பு எத்தனை எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள்?

7. K அணுக்கள், Cl அணுக்கள் ஆகியவற்றிலிருந்து ஒரு மோல் வாயுவின் உருவாதல் வெப்பம் (Heat of formation) எத்தனை கேலரிகள்?

8. லிதியம் உலோகத்தின் வெளியேற்று ஆற்றல் 2.36 ev ஆகும். லிதியத்திற்கான U_0-ன் மதிப்பு என்ன?

9. A என்ற உலோகத்திற்கு $U_0 = 4$, $KE_0 = 3$ ev. B என்ற உலோகத்திற்கு $U_0 = 3.5$, $KE_0 = 2$ ev ஆகும். அவை இரண்டையும் இணைக்கும்போது ஃபெர்மி மட்டங்கள் சமமாகும் வரை எலெக்ட்ரான்கள் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றிற்குச் செல்லும். அவற்றுள் எது மற்றதைப் பொறுத்து நேரினத் தொடுகை மின்னழுத்தத்தை (Contact potential)ப் பெறும்?

10. H_2^+-ல் இரு புரோட்டான்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு 1.06A. $\mu-$ மெஸான் (எலெக்ட்ரானைப்போல் 207 மடங்கு நிறைகொண்டது) ஒன்றினால் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும் இரு புரோட்டான்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு என்ன?

11. ஒரு குறிப்பிட்ட கனமான அணுக்கருவில் α-துகள் ஒன்று நிலையாற்றல் அரணுடன் வினாடிக்கு 10^{22} முறை மோதுகிறது. $\psi out/\psi in = 10^{-15}$. இந்த அணுக்கரு ஒரு ஆண்டில் சிதைவுறுவதற்கான நிகழ்திறம் என்ன?

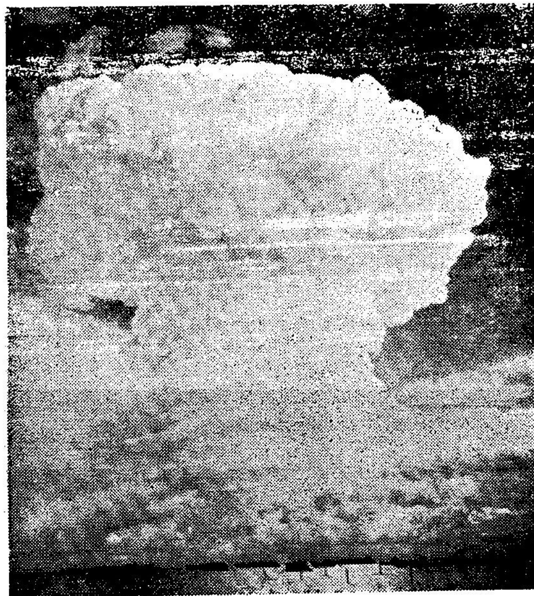
12. L பக்கமுள்ள ஒரு கன சதுரம் பெட்டியிலுள்ள ஒரு எலெக்ட்ரானின் குவாண்டம் எண்கள் N_x, N_y, N_z ஆகும்.

(a) L, m, h மற்றும் குவாண்டம் எண்களின் அடிப்படையில் இந்த எலெக்ட்ரானின் உந்தத்தின் x, y, z ஆக்கக் கூறுகளுக்கான சமன்பாடுகளை எழுதுக.

(b) h, m, L, N_x, N_y, N_z ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் இந்த எலெக்ட்ரானின் ஆற்றலைக் கணக்கிடுக. (குறிப்பு: $P^2 = P_x^2 + P_y^2 + P_z^2$).

13. *12*ஆம் கணக்கின் (b) பகுதிக்கான விடை $W = h^2/8mL^2(N_x^2 + N_y^2 + N_z^2)$ ஆகும். $L = 10^{-7}$ செ.மீ. மதிப்புள்ள பெட்டிக்கான சிறும ஆற்றல் மட்டங்கள் ஐந்தின் ஆற்றல்களை எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகளில் கணக்கிடுக.

14. *12*ஆம் கணக்கை L_x, L_y, L_z பக்கங்களுள்ள செவ்வகப் பெட்டிக்கு மீண்டும் செய்க.



அணுக்கரு பௌதிகம்
(Nuclear Physics)

இயல் 15

அணுக்கரு பௌதிகம்

15-1 அணுக்கருக்களின் பண்புகள்

அணுக்களின் நுண்படிவங்கள் (miniaturised atoms)

இவ்வியலில் அணுக்கரு மற்றும் அதன் அமைப்பு ஆகியவற்றைப்பற்றிய ஆராய்ச்சிக்கு முதலிடம் அளிக்கப்பட்டுள்ளது, புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் மிகவும் ஒத்திருப்பதைக் காணலாம். எனவே ஒரு புரோட்டான் அல்லது நியூட்ரானைக் குறிக்க 'நியூக்ளியான்' (Nucleon) என்ற சொல் பயன்படுத்தப் படுகிறது. அணுக்கரு அமைப்பை அணு அமைப்பை ஒத்தவகையில் விளக்கலாம் என நாம் நம்புகிறோம், அதாவது அணுவினுள் உள்ள எலெக்ட்ரான் பாதைகளை ஒத்த குறிப்பிட்ட சில பாதைகளில் வலம் வரும் நியூக்ளியான்களின் அமைப்பாக அணுக்கருவைக் கருதலாம். ஒரு குறிப்பிட்ட அணுக்கருவின் நிறை, சுழற்சி, காந்தத் திருப்புதிறன், நியூக்ளியான்களின் பிணைப்பாற்றல்கள், அக்கருவின் கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலைகள் ஆகியவற்றைத் தத்துவ ரீதியாக (in principle) கணக்கிட இயலவேண்டும் என்பது நமது குறிக்கோளாகும். அவப்பயனாக (unfortunately) நியூக்ளியான்—நியூக்ளியான் விசையானது மின்விசையைப் போன்று அவ்வளவு எளிதாக இல்லை; மேலும், மிகத் துல்லியமாக இதுவரை அது அளவிடப்படவில்லை. எனினும் அணுக்கருவின் அமைப்பைப் புரிந்து கொள்வதில் கணிதமான முன்னேற்றம் ஏற்பட்டிருப்பதன் பயனாய் பல அணுக்கருப் பண்புகளைத் தோராயமாகவாவது முன்னுரைக்க முடியும்.

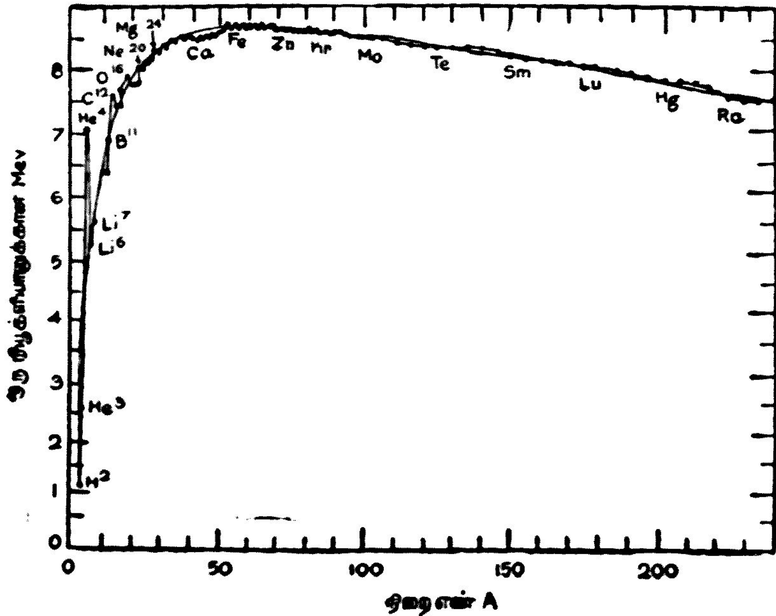
நியூக்ளியான்—நியூக்ளியான் விசை, அணுக்கரு அமைப்பு ஆகியவற்றைப் பற்றிய நமது தற்போதைய அறிவை ஆராயுமுன் சோதனை அடிப்படையில் நாம் பெற்ற அணுக்கருப் பண்புகளைப் பற்றிக் கூறுவோம். முதலில் அணுக்கரு எவ்வளவு சிறியது? அணுக்களை மிக்காற்றல் (high energy) எலெக்ட்ரான்களைக்

கொண்டு தாக்கி, அவற்றுள் எத்தனை நேரடியாகத் தாக்கு கின்றன என்பதைக் கணக்கிடுவதன்மூலம் அணுக்கருவின் அளவை மதிப்பிட முடியும். அதன் பயனாய் நிறை எண் A (புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் மொத்த எண்ணிக்கை) உடைய ஒரு அணுக்கருவில் ஏறத்தாழ அதனுள் உள்ள எல்லா நியூக்ளியான்களும்,

அணுக்கரு ஆரம்

$$R = 1.2 \times 10^{-13} A^{1/3} \text{ செ.மீ.} \qquad (15\text{-}1)$$

ஆரத்தினுள் நெருக்கமாகப் பொதிந்துள்ளன என அறியப்பட்டது. மிகச் சிறு அணுக்கருக்களைத் தவிர மற்ற எல்லா அணுக்கருக் களுக்கும் இச்சமன்பாடு பொருந்துகிறது எனச் சோதனைகள் கூறுகின்றன, பருமன் R^3-க்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதால் அதன் நியூக்ளியான்களின் எண்ணிக்கை A-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். அவ்வாறாயின் சமன் 15-1-ன்படி அணுக்கருக்கள் யாவும் அவற்றின் அளவைச் சாராத, ஒரே அடர்த்தியைப் பெற்றிருக்கவேண்டும்.



படம் 15-1

நிறை எண் A-ன் சார்பலனாக அமைந்த, ஒரு நியூக்ளியானுக்கான பிணைப்பாற்றலின் சோதனைமுறை மதிப்புக்கள்.

மாதிரிக் கணக்கு

அணுக்கருப் பொருளின் அடர்த்தி ஒரு கனசென்டிமீட்டருக்கு எத்தனை நியூக்ளியான்கள்? எத்தனை கிராம்கள்? ஒரு கனசென்டிமீட்டருக்குள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை

$$N = \frac{A}{V}$$

சமன் 15-1-ன்படி அணுக்கருப் பருமன்

$$V = \frac{4\pi}{3} R^3 = \frac{4\pi}{3} (1.2 \times 10^{-13})^3 A$$

எனவே $N = \dfrac{A}{\frac{4\pi}{3} \times 1.2^3 \times 10^{-39} A}$

$= 1.38 \times 10^{38}$ நியூக்ளியான்கள்/செமீ^{3} (15-2)

அடர்த்தி என்பது ஒரு நியூக்ளியானின் நிறையான 1.67×10^{-24} கிராமின் N மடங்கு ஆகும். எனவே

$D = 2.3 \times 10^{14}$ கி/செ.மீ.^{3}

இக்கணக்கீட்டின்படி 1 செ.மீ.^{3} அணுக்கருப் பொருள் 250 மில்லியன் டன்கள் உடையதாயிருக்கும்.

அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் போலவே நியூக்ளியான்களும் புரோட்டான்களுக்கிடையேயுள்ள கூலம் ஒதுக்கு விசையை விஞ்சிய ஈர்ப்பு விசைகளால் ஒன்றுகப் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. இத்தகைய விசை அணுக்கரு விசை என அழைக்கப்பெறுகிறது. இதனைப் பற்றிப் பிரிவு 15.2 ல் காணலாம். இலேசான அணுக்கருக்களில் A அதிகமாகும்போது ஒரு நியூக்ளியானுக்கான பிணைப்பாற்றலும் அதிகமாகிறது எனச் சோதனைமூலம் தெரியவருகிறது. பல விசைகள் ஒன்று சேருவதன் பயனாய் அத்தகைய விளைவை நாம் எதிர்பார்க்கலாம். அதாவது ஒரு ஒற்றை நியூக்ளியான் ஓரிரண்டு நியூக்ளியான்களால் கவரப்படும்பொழுது உள்ளதை விட பலவற்றால் கவரப்படுமாயின் மிக்க வலிமையாகப் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும். எனினும் A-ன் மதிப்பு 80-க்குமேல் அதிகமாகும்போது ஒரு நியூக்ளியானுக்குள்ள பிணைப்பாற்றல் சிறிது சிறிதாகக் குறைகிறது. இத்தகைய விளைவு ஈர்ப்பியல் அணுக்கரு விசை (attractive nuclear force) யானது ஒரு குற்றெல்லை (short range) (ஏறத்தாழ ஒரு நியூக்ளியானின் விட்டத்தின் அளவு) விசையே என்பதை அறிவுறுத்துகிறது. இந்த எல்லைக்கு அப்பால் நிலை மின்னியல் ஒதுக்குவிசை மேலோங்கி நிற்கிறது. A-ன் மதிப்பு

ஏறத்தாழ 80 உள்ள அணுக்கருக்களே மிகவும் இறுக்கமாகப் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன.

பிணைப்பாற்றலானது A-ன் மதிப்பைச் சார்ந்திருக்கும் இந்தச் செயற்பாங்கின் இரு விளைவுகள் அணுக்கரு இணைவு (Nuclear fusion), அணுக்கருப் பிளவு ஆகிய இரு நிகழ்ச்சிகளுமாகும். முதலில், ஒரு எலெக்ட்ரானும் ஒரு புரோட்டானும் ஒன்று சேரும் பொழுது என்ன நேருகிறது என்பதை ஆராய்வோம். அவ்வாறு சேரும்பொழுது 13.6 ev ஆற்றல் வெளிவிடப்படுகிறது. எனவே, ஹைடிரஜன் அணுவின் நிறையானது ஒரு கட்டுறு எலெக்ட்ரான், ஒரு புரோட்டான் ஆகியவற்றின் மொத்த நிறையைவிட 13.6 ev* குறைவாக உள்ளது. அவ்வாறே இலேசான இரு அணுக்கருக்களின் மொத்த நிறையானது அவை ஒன்று சேரும்பொழுது கிடைக்கப்பெறும் நிறையைவிட அதிகமாக இருக்கும். அவ்விரு அணுக்கருக்களையும் ஒன்று சேர்த்தால் மேற்கூறப்பட்ட நிறை வேறுபாட்டிற்குரிய ஆற்றலை வெளிவிட்டு அவை 'உருகி' இணையும். இந்நிகழ்ச்சி அணுக்கரு இணைவு எனப்பெறுகிறது. இந்தநிறை வேறுபாடானது 1%பாதியைவிட அதிகமாக இருக்கும் என்பதைப் பிரிவு 15.5-ல் காணலாம். மாறாக, எடைமிக்க அணுக்கரு ஒன்று இரு சிறிய அணுக்கருக்களாகப் பிளவுறுமாயின் அவ்விரு அணுக்கருக்களின் மொத்த நிறை மூல அணுக்கருவின் மொத்த நிறையைவிட 1%-ல் பத்திலொரு பகுதியளவுக் குறைவாக இருக்கும். இவ்வாறாக, எடைமிக்க அணுக்கரு ஒன்று இரு சிறு அணுக்களாகப் பிரிந்து ஆற்றலை வெளிவிடக்கூடும். அணுக்குண்டு, அணுக்கரு உலை ஆகியவற்றின் ஆற்றல்கள் அணுக்கருப் பிளவில் வெளிப்படும் ஆற்றல்களாகும். ஹைடிரஜன் குண்டின் ஆற்றல் அணுக்கரு இணைவில் வெளிப்படும் ஆற்றலாகும்.

ஆல்ஃபாச் சிதைவை ஒரு ஏறுமாறான (Lopsided) அணுக்கருப் பிளவு எனக் கருதலாம் (பிரிவு 14-5). அத்தகைய பிளவின் மூல அணுக்கரு M-ஆனது ஒரு சிறிய α-துகளாகவும் ஒரு பெரிய எஞ்சிய அணுக்கரு M' ஆகவும் பிளவுபடுகிறது.

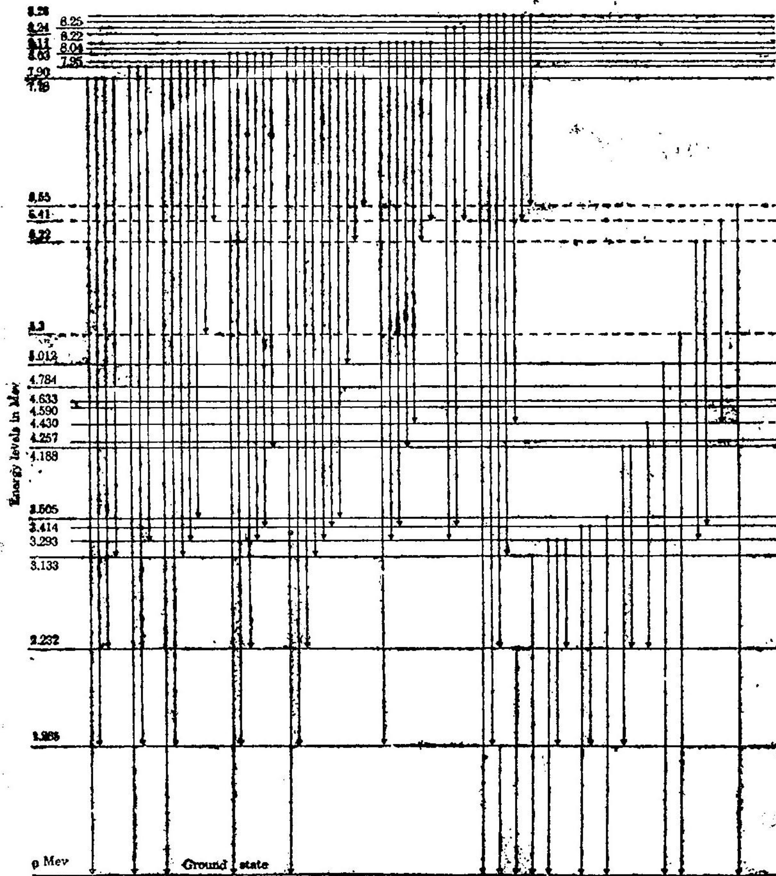


$$M \rightarrow M' + \alpha$$

என்ற வினையில் நிறை M ஆனது M', α துகளின் நிறை ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையைவிட அதிகமாக இருந்தால் மட்டுமே

*ஆற்றலை நிறையின் ஒரு அலகாகப் பயன்படுத்துவது பௌதிகத்தில் பொதுவான ஒரு வழக்கமாகும். குறிப்பிட்ட ஆற்றலுக்குரிய நிறையை $M = \frac{W}{c^2}$ என்ற தொடர்பிலிருந்து கிடைக்கப்பெறலாம்.

ஆல்ஃபாச் சிதைவு ஏற்படுகிறது. அந்நிலையில் அணுக்கரு கதிரியக்கம் உள்ளதாக அமைந்து அல்ஃபாச் சிதைவுக்கு உட்படக் கூடும். Z-ன் மதிப்பு 82 (காரீயம்)-ஐவிட அதிகமான எல்லா அணுக்கருக்களுக்கும் $M > M' + M\alpha$ ஆகும். $Z = 92$ (யுரேனியம்)-க்கு மேல் ஆல்ஃபாச் சிதைவு அரை ஆயுட்கள் (Half life) புவியின் வயதைவிடக் குறிப்பிடத்தக்க அளவுக்குக் குறைவாக

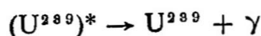


படம் 15-2

ஆற்றல் மட்டங்களும் காமாப்பெயர்ச்சிகளும். கிடைமட்டக்கோடு ஒவ்வொன்றும் P^{31} அணுக்கருவின் கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலையைக் குறிக்கிறது. (1957, அக்டோபர் திங்கள் "நவீன பௌதிகத்தின் மதிப்பாய்வு"—*Reviews of Modern Physics*— இதழிலிருந்து மறுபதிப்புச் செய்யப்பட்டது),

உள்ளன. இதன் காரணமாகவே 92-ஐவிட அதிகமான அணு எண்ணையுடைய தனிமங்கள் எதுவும் புவியில் இயற்கையில் கிடைப்பதில்லை. காட்டாக, அணு உலைகளில் யுரேனியத்தி லிருந்து புளூட்டோனியத்தை ($Z = 94$)-ப் பெறமுடியும். இம் முறையானது புளூட்டோனியத்தின் விலை ஏறத்தாழ ஒரு கிராமுக்கு 15 ஆக இருக்குமளவிற்கு மிகவும் சாதாரண முறை யாகத் திகழ்கிறது. இதுவரை $Z = 102$ (நொபீலியம்-Nobelium) வரையுள்ள தனிமங்கள் உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. ஆனால் அவை மிகக் குறைந்த அளவிலும் மிக அதிகச் செலவிலும் உருவாக்கப் பட்டுள்ளன. கதிரியக்க வேதியியலர்கள் (Radio chemists) $Z = 102$-க்கும் மேற்பட்ட புதிய தனிமங்களையும் மிக மிகச் சிறிய அளவில் உருவாக்குவதில் வெற்றி கண்டார்கள் என எதிர் பார்க்கப்படுகிறது.

அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களை எவ்வாறு அதிக ஆற்றல் பாதைகள் அல்லது ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு கிளர்ச்சியூட்ட முடியுமோ அவ்வாறே ஒரு அணுக்கருவிலுள்ள நியூக்ளியான் களையும் அதிக ஆற்றல் பாதைகளுக்குக் கிளர்ச்சியூட்ட முடியும். இவ்வாறாக, ஒவ்வொரு அணுக்கருவும் அதன் அடிநிலைக்கு மேல் அமைந்த ஆற்றல் மட்டங்களின் தொகுதி ஒன்றைக் கொண் டுள்ளது. அத்தகைய ஆற்றல் மட்டங்களையும் பாஸ்பரஸ் 31-ல் நிகழும் காமாக்கதிர் பெயர்ச்சிகளையும் படம் 15-2-ல் காணலாம். அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்களைக் காட்டும் படம் 13-8-ல் காணப் படும் அதே பண்புகளைக் கொண்டுள்ளதைக் காணலாம். கிளர்ச்சி யூட்டப்பட்ட அத்தகைய அணுக்கரு ஒன்று (அணுக்கருப் பௌதி கர்களால் காமாக்கதிர் எனப்படும்) ஒரு ஃபோட்டானை வெளி விட்டு குறைந்த ஆற்றல் மட்டத்திற்கு வரக்கூடும். காட்டாக, நியூட்ரான் ஒன்று U^{238} அணுக்கரு (தலையெண் $A = 238$ என்ப தைக் குறிக்கிறது) ஒன்றைத் தாக்குமாயின் $(U^{239})^*$ அணுக்கரு ஒன்று உருவாகிறது; நட்சத்திரக்குறி U^{239} ஐஸோட்டோப்பின் ஏதோ கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலையைக் குறிக்கிறது. இனி



$$(U^{239})^* \rightarrow U^{239} + \gamma$$

γ, வெளிவிடப்பட்ட காமாக்கதிரைக் குறிக்கிறது. கிளர்ச்சி யூட்டப்பட்ட ஒவ்வொரு நிலையும் அதற்குரிய குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டம், சுழற்சி, காந்தத் திருப்புதிறன் ஆகியவற்றைக் கொண் டுள்ளது. ஏறத்தாழ 1000 வெவ்வேறு ஐஸோடோப்புகளுக்குரிய இந்த மதிப்புக்களையும் இன்னும் பல அளவுகளையும் அளவிடுவதில் அணுக்கருப் பௌதிகர்கள் ஓய்வின்றி ஈடுபட்டுள்ளனர். அள வீடுகள் அத்தகைய நடைமுறைப் பயன்களைக் கொண்டிருப்ப

தோடு அணுக்கரு விசைகளையும் பற்றிய நமது அறிவைச் செம்மைப்படுத்தவும் செய்கின்றன.

15-2 கதிரியக்கச் சிதைவு

நடப்பதெப்பொழுது, அறிவார் உண்டோ

பௌதிக நிகழ்ச்சிகளுள் பெரும்பான்மையானவை எக்ஸ்பொனென்ஷியல் (Exponential) சிதைவு என்னும் இயல்பைக் கொண்டுள்ளன. இதுவரை நாம் அத்தகைய இரு நிகழ்ச்சிகளைப் பற்றி அறிந்துள்ளோம். அவையாவன: (1) எடைமிக்க அணுக் கருவின் α-சிதைவு (2) கிளர்ச்சியூட்டப்பெற்ற அணு (இயல் 13) அல்லது அணுக்கரு (பிரிவு 15-1) விலிருந்து ஃபோட்டான் அல்லது காமாக்கதிர் ஒன்று வெளிப்படுதல். இவை ஒவ்வொன்றிலும் ஓரலகு காலத்தில் நிகழும் சிதைவுக்கான மாருத நிகழ்திறன் உள்ளது.

U^{238} அணுக்கரு ஒன்று பருப்பொருளின் அலைத்தன்மையின் பயனாய் நிகழ்திறன் விதிகளுக்கேற்ப சிதைவுறுகிறது என்பதைப் பிரிவு 14-5-லிருந்து நாம் நினைவு கூறலாம். α–துகள் ஒன்று அணுக்கருவுக்கு வெளியே காணப்படுவதற்கான நிகழ்திறன் $(\psi_{out})^2$-க்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது (படம் 14-7). ஒரு குறிப் பிட்ட அணுக்கருவானது எவ்வகையிலேனும் பல அரை ஆயுட் காலங்களுக்குச் சிதைவுறாமல் தொடர்ந்து இருக்குமாயின் அதன் கடந்தகால நிலைகள் அது எதிர்காலத்தில் சிதைவுறுவதற்கான வாய்ப்பை எவ்வகையிலும் பாதிக்காத வகையில் இந்த நிகழ் திறனின் தன்மை அமைகிறது. ஒரு நாணயச் சுண்டிட்டிற்கும் (Coin tossing) இதுவே பொருந்தும். அடுத்தடுத்த ஐந்து சுண்டீடு களில் தலைகளைப்பெற நேருமாயினும் ஆறுவதிலும் தலையே பெறு வதற்கான நிகழ்திறன் பாதியேயாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட அணுக் கரு எப்போது சிதைவுறும் என்பதை ஒருபோதும் முன்னுரைக்க முடியாது. ஒரே வகையான எல்லா அணுக்கருக்களுக்கும் அவை எவ்வளவு காலம் வாழ்ந்திருந்தாலும் சிதைவுறுவதற்கான நிகழ் திறன் அதே அளவாகவே இருக்கும். காட்டாக, எந்தவொரு U^{238} அணுக்கருவும் ஓராண்டுக் காலத்தில் சிதைவுறுவதற்கான நிகழ்திறன் $= 1/(6.5 \times 10^9)$ ஆகும். Δt ஆண்டுகளில் சிதை வுறுவதற்கான

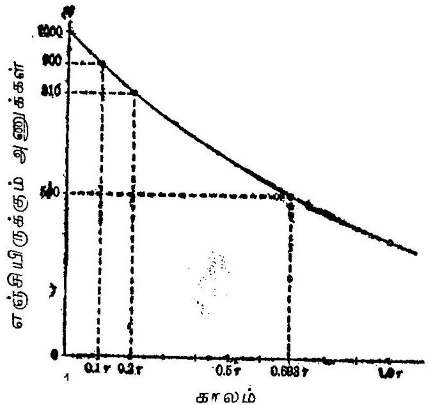
$$\text{நிகழ்திறன்} = \frac{\Delta t}{6.5 \times 10^9} \qquad (15\text{-}3)$$

ஆகும். இந்த நிகழ்திறனைப் பயன்படுத்தி U^{238} அணுக்கரு சராசரி எவ்வளவு காலம் வாழும் என்பதை நாம் கணக்கிடலாம்.

அத்தகைய கணக்கீட்டின் முடிவு சமன் 15-3-ன் பகுதிக்கூறு (denominator) அல்லது 6.5×10^9 ஆண்டுகளாகும். இக்கால அளவு சராசரி ஆயுள் (mean life) τ என வரையறுக்கப்படுகிறது. சராசரி ஆயுளின் அடிப்படையில் Δt கால அளவில் சிதைவுறுவதற்கான

$$\text{நிகழ்திறன்} = \frac{\Delta t}{\tau} \qquad (15\text{-}4)$$

ஆகும். இத்தொடர்பானது Δt என்ற காலஅளவு τ-ஐவிட மிகக் குறைவாக இருக்கும்பொழுது மட்டுமே பொருந்தும் என்பதை நாம் இப்போது காணலாம். இச்சமன்பாட்டின்படி, $\Delta t = 1/10\ \tau$ என்றால் ஒவ்வொரு அணுக்கருவும் சிதைவுறுவதற்கான பத்திலொரு வாய்ப்பைப் பெற்றுள்ளன. தொடக்கத்தில் 1000 U^{238} அணுக்கருக்களைக் கொள்வோமாயின் அவற்றுள் ஏறத்தாழ 100 அணுக்கள் $\tau/10 = 6.5 \times 10^8$ ஆண்டுகளில் சிதைவுறும். எஞ்சிய 900 அணுக்கருக்களில் அடுத்த $6.5 + 10^8$ ஆண்டுகளில் 90 அணுக்கள் சிதைவுறும். எஞ்சிய 810-ல் மூன்றாவது 3.5×10^8 ஆண்டுகளில் 81 சிதைவுறும். t கால அளவின் இறுதியில் எஞ்சியிருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கைப்



படம் 15-3

கதிரியக்கச் சிதைவு வளைகோடு. t கால அளவின் இறுதியில் எஞ்சியிருக்கும் கதிரியக்க அணுக்களின் எண்ணிக்கை செங்குத்து அச்சில் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. கால அளவு t, சராசரி ஆயுள் τ-ன் அடிப்படையில் கிடை அச்சில் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

படம் 15-3-ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. நுண்கணிதத்தின் உதவியால் இந்த வளைகோட்டைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடலாம். அக்கணக்கீட்டின்படி

$$N = N_0 e^{-t/\tau} \qquad (15\text{-}5)$$

ஆகும் ; N_0 என்பது சராசரி ஆயுள் τ நிலையற்ற துகள்களின் தொடக்க எண்ணிக்கை. நுண்கணிதத்தில் அடிக்கடித் தோற்ற மளிக்கும் 'e' என்ற மாறிலி $e = \lim_{x \to 0} (1 + x)^{1/x}$ என வரையறுக்கப் படுகிறது. அதன் மதிப்பு $e = 2.718 \ldots$ ஆகும்.

துகள்களில் பாதியளவு சிதைவுறுவதற்கு t/τ-ன் மதிப்பு என்னவாக இருக்கவேண்டும்? அரை ஆயுள் எனப்படும் t-ன் இக்குறிப்பிட்ட மதிப்பை T என்னும் எழுத்தால் குறிப்பிடுவோம். சமன் 15-5-ன்படி

$$e^{-T/\tau} = \tfrac{1}{2}$$

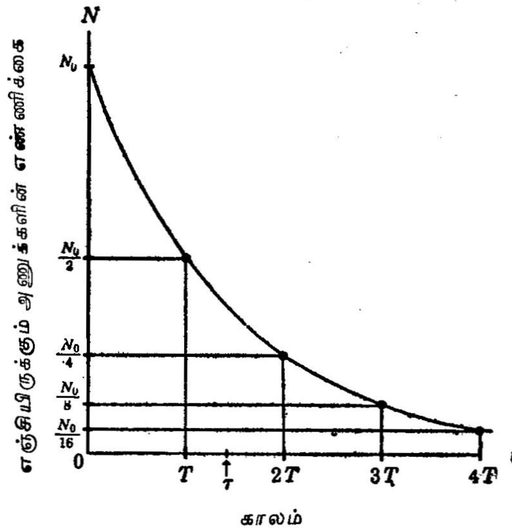
லாகரிதம் அட்டவணையிலிருந்து

$$e^{-0.693} = \tfrac{1}{2}$$

என அறியலாம்.

எனவே $\dfrac{T}{\tau} = 0.693$

அல்லது $T = 0.693\,\tau$ (15-6)



படம் 15-4

கதிரியக்கச் சிதைவு வளைகோடு. நான்கு அரை ஆயுட்கள் கால அளவில் எஞ்சியிருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை நேரத்தின் சார்பலனாகக் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

U^{238}-க்கு அரைஆயுள் $T = 0.693 \times 6.5 \times 10^9$ ஆண்டுகள் $= 4.5$ பில்லியன் ஆண்டுகள் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. சமன் 15.5-ல் τ-க்கு $T/0.693$ என்னும் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\frac{N}{N_0} = e^{-0.693\, t/T} = (e^{-0.693})^{t/T}$$

அல்லது $$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} \qquad (15\text{-}7)$$

இரு அரை ஆயுட்காலங்களின் ($t = 2T$) இறுதியில் நான்கில் ஒரு பகுதி துகள்கள் எஞ்சியுள்ளன. மூன்று அரை ஆயுட்களின் இறுதியில் எட்டில் ஒரு பகுதி துகள்கள் எஞ்சியுள்ளன. சமன் 15.7 படம் 15-4-ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தச் சிதைவு வளை கோடுகள் (படங்கள் 15-3, 15-4) எக்ஸ்பொனென்ஷியல் சிதைவு வளைகோடுகள் (exponential decay curves) என அழைக்கப் பெறுகின்றன.

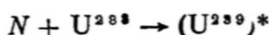
காமாக்கதிர் வெளியீட்டிற்கு, கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலையில் அமைந்த அணுக்கரு ஒன்று ஒரு ஃபோட்டானை வெளிவிடுவதற் கான நிகழ்திறனைக் குவாண்டம் விசையியலைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிடலாம். இவ்வாறாக, படம் 15-2-ல் உள்ள பாஸ்பரஸ் அணுக்கருவின் ஒவ்வொரு கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலையும் ஒரு குறிப்பிட்ட அரை ஆயுளைக் கொண்டுள்ளது. அதேவகையான கணக்கீடு ஒரு ஃபோட்டானை வெளிவிட்டு ஹைடிரஜன் அணுவின் அடிநிலைக்குச் சிதைவுறுவதற்கான அரை ஆயுள் அல்லது நிகழ் திறனைக் கொடுக்கிறது. $\triangle t$ வினாடியில் ஃபோட்டான் வெளி யீட்டிற்கான நிகழ்திறன் $= \triangle t/(1.6 \times 10^{-9})$ எனவே, $N = 2$, $l = 1$ நிலையில் உள்ள, கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட ஹைடிரஜன் வாயு ஒன்றின் அரை ஆயுள் 1.1×10^{-9} வினாடியாகும்.

15-3 கதிரியக்க ஐஸோட்டோப்புகள்

'மனிதன்' கொடுத்த அணுக்கருக்கள்

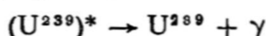
இயற்கையில் கிடைக்கும் ஐஸோட்டோப்புகளை நியூட்ரான் களால் தாக்குவதன்மூலம் இயற்கையில் கிடைக்காத புதிய ஐஸோட்டோப்புகளை உருவாக்கலாம். மின்னூட்டத் துகள் களைப் போலன்றி நியூட்ரான்கள் பருப்பொருளை ஊடுருவும் பொழுது மிகக் குறைந்த ஆற்றலை இழப்பதால் இவை அணுக் கருவினுள் எளிதில் ஊடுருவமுடியும். ஒரு நியூட்ரான், அணுக் கரு ஒன்றைத் தாக்கும்பொழுது பெரும்பாலும் அது உட்கவரப் படுகிறது. அந்நிலையில், அதிகமான ஒரு நியூட்ரானுடன் கூடிய, கிளர்ச்சியூட்டப்பெற்ற ஆற்றல் நிலையில் அமைந்த புதிய ஐஸோட்

டோப்பு ஒன்று உருவாகிறது. புதிதாக உருவாக்கப்பட்ட கிளர்ச்சி யூட்டப்பெற்ற அணுக்கரு வழக்கமாக அடிநிலைக்குக் காமாச் சிதைவுறும். பெரும்பாலும் அடிநிலையும் கதிரியக்க முடையதாய் அமையும். அடிநிலைகள் கதிரியக்கமுடையதாய் அமையப்பெற்ற ஐஸோட்டோப்புகள் கதிரியக்க ஐஸோட்டோப்புகள் எனப்படும். காட்டாக, U^{238}, நியூட்ரான்களால் தாக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். U^{238}, நியூட்ரானை உட்கவரும்பொழுது அது கிளர்ச்சியூட்டப்பெற்ற நிலையில் அமைந்து, U^{239} என்னும் ஐஸோட்டோப்பை உருவாக்குகிறது. அதனை $(U^{239})^*$ எனக் குறிப்பிடுவோம்.



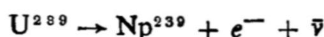
$$N + U^{238} \rightarrow (U^{239})^*$$

இனி, கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட அணுக்கரு அடிநிலைக்குக் காமாச் சிதைவுறக்கூடும்.



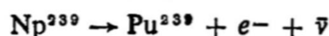
$$(U^{239})^* \rightarrow U^{239} + \gamma$$

புதிய ஐஸோட்டோப்பான U^{239} இயற்கையில் கிடைப்பதில்லை. அது 24 நிமிட அரை ஆயுளைக்கொண்டு பீட்டாச் சிதைவுற்று $Z = 93$ (நெப்டூனியம்) கொண்ட ஒரு அணுக்கருவை உருவாக்குகிறது.



$$U^{239} \rightarrow Np^{239} + e^- + \bar{\nu}$$

e^-, $\bar{\nu}$ ஆகிய குறியீடுகளும் பீட்டாச் சிதைவின் செயல் முறையும் இயல் 16-ல் விரிவாக ஆராயப்படுகின்றன. எஞ்சிய அணுக்கரு Np^{239}ஆம் பீட்டாச்சிதைவைக் கொண்டு நிலையற்றதாயமைகிறது. அது 2.3 நாட்கள் அரை ஆயுளுடன் புளுட்டோனிய ($Z = 94$) மாகச் சிதைவுறுகிறது.



$$Np^{239} \rightarrow Pu^{239} + e^- + \bar{\nu}$$

1934ஆம் ஆண்டு ஜனவரித் திங்களில் என்ரிக்கோ ஃபெர்மி என்பாருக்கு வெவ்வேறு பொருட்களை நியூட்ரான்களால் தாக்குவதன் மூலம் செயற்கைக் கதிரியக்கத்தை உருவாக்க முடியலாம் என்ற எண்ணம் தோன்றியது. ஃபெர்மியும் அவரது ரோமானியர் குழுவும் அவர்கள் பெறக்கூடிய ஒவ்வொரு தனிமத்தையும் அணு எண் வளர்வரிசையில் நியூட்ரான்களால் முறையாகத் தாக்கினர். 1934, மே திங்கள் அளவில் யுரேனியம் வரையுள்ள தனிமங்களைத் தாக்கி முடித்தனர். எனினும் U^{239}ஆனது பீட்டாச் சிதைவு அரை ஆயுளோடு மற்றும் சிக்கல் வாய்ந்த அரை ஆயுட்களையும் கொண்டிருப்பதைக் கண்டனர். U^{239}-ன் பீட்டாச் சிதைவின் மூலம் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட, யுரேனியம் இவர்ந்த

தனிமங்களை (Trans-uranic elements) அவர்கள் உருவாக்கியிருக்க லாம் என அவர்கள் கருதினர். மேலும் U^{239}-ன் பீட்டாச் சிதைவில் உருவாகும் $Z = 93$ அணுக்கருவானது மீண்டும் $Z = 94$ அணுக்கருவாகப் பீட்டாச் சிதைவுறலாம் என்றும் இன்னும் இது போன்று பிறச் சிதைவுகளும் நிகழலாம் என்றும் அவர்கள் கருதினர். அந்நிலையில் தனது சோதனையின் முடிவுகளைத் தன்னால் முற்றிலும் புரிந்துகொள்ள முடியவில்லை என ஃபெர்மி கூறினார். அவரது சோதனையின் முடிவுகள் அவ்வளவு சிக்கல் வாய்ந்தவை யாக இருந்தமைக்குக் காரணம் கிளர்ச்சியூட்டப்பெற்ற U^{239} அணுக்கருக்களுள் சில பிளவுபட்டதை ஃபெர்மி அறியாததே யாகும். அத்தகைய பிளவில் உருவான சில அணுக்கருக்கள் பல்வேறு அரை ஆயுட்களைக் கொண்ட ஒரு கலவையை உரு வாக்கின. அவரது முடிவுகளை ஃபெர்மி முற்றிலும் அறிந்திருப் பாரேயாயின் அணுகுண்டு ஒன்று இருக்கமுடியுமென்பதை ஹிட்லர் உட்பட இம்முழு உலகமும் 1934ஆம் ஆண்டிலேயே அறிந்திருக்கக்கூடும்.

புதிய ஐஸோட்டோப்புகளையும் அவற்றை உருவாக்கும் முறை களையும் கண்டுபிடித்தமைக்காக 1938 டிசம்பர் திங்களில் ஃபெர்மிக்கு நோபல் பரிசு வழங்கப்பட்டது. பரிசு பெற்றவரோடு அவரது குடும்பமும் ஸ்வீடனுக்குச் செல்வது மரபு ஆதலால் ஃபெர்மியும் அவரது குடும்பமும் கோலாட்சி தாண்டவமாடிய இத்தாலியிலிருந்து வெளியேறுவதற்கான நல்வாய்ப்புக் கிடைத் தது. ஃபெர்மி, அவரது பரிசைப் பெற்றபின்னர் அமெரிக்க நாட்டிற்குச் சென்றார். அங்கு சென்ற சில நாட்களுக்குப் பிறகு அணுக்கருப் பிளவைப்பற்றி அறிந்து அணுகுண்டுக்கு வழி வகுத்த முன்னோடி ஆராய்ச்சிகளைச் செய்தார். ஃபெர்மியின் ஆராய்ச்சி யின் சிறப்பை எடுத்துக்காட்டி தலைவர் ரூஸ்வெல்ட்டுக்கு ஐன்ஸ்டீன் எழுதிய புகழ்வாய்ந்த கடிதத்தைப் படம் 15-5-ல் காணலாம்.

தொழில்துறை, மருத்துவம், வேளாண்மை மற்றும் ஆராய்ச் சித்துறைகளில் கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகளின் பயன் மிகவும் பரவலானதும் பெரிதும் பொருளாதார முக்கியத்தும் வாய்ந்தது மாகும். உயிரியல் மற்றும் தொழிலியல் பொருட்களின் சிறு மாதிரிக் கூறுகளோடு கதிரியக்க ஐஸோட்டோப்புகளை 'இணை'க்க லாம். அந்நிலையில் அத்தகைய மாதிரிக் கூறுகளை கதிரியக்க உணர் கருவிகளின் உதவியால் பின்தொடர்வதன் மூலம் உயிரியல் மற்றும் தொழிலியல் நிகழ்ச்சிகளை ஆராயலாம். காட்டாக, ஒரு குரோமோசோமில் உள்ள பிறப்பு மூலத்திற்குரிய பொருளை (Genetic material) இவ்வகையில் பின்தொடரலாம். மரபுக் கீற்றின்

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E.Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium,by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However,

---

I understand that Germany has actually stopped the sale of uranium from the Czechoslovakian mines which she has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the ground that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsäcker, is attached to the Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,
A. Einstein
(Albert Einstein)

From Franklin D. Roosevelt Library

படம் 15-5

தலைவர் ரூஸ்வெல்ட்டுக்கு ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன் எழுதிய கடிதம்.

F. D. ரூஸ்வெல்ட், ஆகஸ்ட் 2, 1939.

ஐக்கிய நாடுகளின் தலைவர்,

வெள்ளை மாளிகை,

வாஷிங்டன், D.C.

ஐயா :

E. ஃபெர்மி, L. ஸிலார்டு ஆகியோர்கள் அண்மையில் செய்த சில ஆராய்ச்சியின் முடிவுகள் எனக்குக் கிடைத்துள்ளன. அவைகளை நோக்கும்பொழுது யுரேனியம் என்ற தனிமத்தை ஒரு புதிய, முக்கிய ஆற்றல் கருவூலமாக உருவாக்கலாம் என எண்ணத் தூண்டுகிறது. தற்போதுள்ள சூழ்நிலையினைச் சில கோணங்களில் நோக்கும்பொழுது ஆட்சித் துறையானது விழிப்புடன் இருப்பதோடு தேவைப்பட்டால் விரைந்து செயலாற்றவும் வேண்டுமெனத் தோன்றுகிறது. எனவே, பின்வரும் செய்திகளையும் கருத்துக்களையும் தங்கள் கவனத்திற்குக் கொண்டுவருவது எனது கடமை எனக் கருதுகிறேன்.

சென்ற நான்கு மாதங்களாக ஃபிரான்சில் ஜோலியோட் (Joliot) அமெரிக்காவில் ஃபெர்மி மற்றும் ஸிலார்டு ஆகியோரால் செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சியின் மூலமாக பெருமளவு யுரேனியத்தில் அணுக்கருத் தொடர் வினை ஒன்றை உருவாக்கவும் அதன்மூலம் மிகப் பெருமளவில் ஆற்றலையும் பெருமளவில் ரேடியம் போன்ற புதிய தனிமங்களை உருவாக்கவும் இயலும் என அறியப்படுகிறது. இச் சாதனையைக் கூடிய விரைவில் செய்து முடிக்கலாம் என இப்பொழுது பெரும்பாலும் உறுதியாகத் தோன்றுகிறது.

இப் புதிய நிகழ்ச்சி வெடிகுண்டுகளை அமைக்கவும் வழி வகுக்கும். மேலும், ஐயப்பாட்டிற்குரியதாயினும், பேராற்றல் வாய்ந்த புதிய வகைக் குண்டுகளை அமைக்க ஏதுவாகலாம் என்பது எண்ணிப்பார்க்கத் தக்கதாயுள்ளது. படகில் எடுத்துச் சென்று துறைமுகம் ஒன்றில் வெடிக்கப்படும் இப் புதிய வகைக் குண்டு ஒன்று துறைமுகம் முழுவதையும் அழிப்பதோடு அதைச் சுற்றியுள்ள சில பகுதியையும் அழிக்கக் கூடும். எனினும்........ ....

ஜெர்மானிய அரசு தான் கைப்பற்றிய செக்லோஸ்வாக்கிய சுரங்கங்களிலிருந்து யுரேனிய விற்பனையை நிறுத்தியே விட்டதாக நானறிகிறேன். ஜெர்மானிய அரசு நேருதவிச் செயலரான (Under Secretary of State) வான் விஸாக்கரின் (Van Weizäcker) புதல்வர் பெர்லினிலுள்ள, அமெரிக்க ஆராய்ச்சியைப் போன்ற யுரேனியத்தைப் பற்றிய ஆய்வு நடந்து கொண்டிருக்கும் கைசர்-வில்ஹெம் (Kaiser-Wilhelm) கழகத்துடன் தொடர்பு கொண்டிருப்பதிலிருந்து ஜெர்மனிய அரசின் மேற்கண்ட நடவடிக்கையை ஒருவாறு புரிந்துகொள்ளலாம்.

தங்கள் உண்மையுள்ள

ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன்

ஃபிராங்க்ளின் டி. ரூஸ்வெல்ட் நூலகத்திலிருந்து

(Gene location), குரோமோசோம் இரட்டிப்பு மற்றும் இணைவு ஆகியவற்றைப் பற்றிக் கிடைக்கக்கூடிய தகவல்கள் மரபுவழிப் பண்பியல் அறிவியலுக்கு இன்றியமையாததாகும்.

15-4 கதிர்வீச்சின் உயிரியல் விளைவுகள்

கண்ணில் தெரிவதில்லை, கொடுமை தருவதுண்டு

மின்னூட்டத் துகள்கள் பருப்பொருள் வழியே செல்லும் பொழுது அவை அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களுடன் மோதி அயனிகள் அடங்கிய தடத்தை விட்டுச் செல்கின்றன. அதன் பயனாய் உயிர்வாழ் பொருட்களின் வழியாக மின்னூட்டத் துகள்கள் செல்லும்பொழுது அவற்றின் மூலக்கூறுகள் தகர்க்கப் படுகின்றன அல்லது சேதப்படுத்தப்படுகின்றன. இத்தகைய சேதத்தின் தன்மையும் விளைவுகளும் பௌதிகர்களைவிட உயிரியலர் களின் கருத்தை வெகுவாகக் கவருகின்றன. எனினும் கதிர் வீச்சின் பரவலான செல்வாக்கு மற்றும் முக்கியத்துவத்தின் காரணமாக சில முக்கிய கருத்துக்களை இங்கு சுருக்கமாகக் கூறுவோம். போர்ப் பாதுகாப்பு, படைத்திட்டம், அயல்நாட்டுக் கொள்கை, அணு ஆற்றல், அணுக்கருவிகள் சோதனைசெய்தல், கதிரியக்க ஐஸோட்டோப்புகளின் பயன்கள் அணுக்கரு ஆராய்ச்சி ஆகியவற்றில் நாட்டம் கொண்டோருக்குக் கதிர்வீச்சின் விளைவுகள் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாகும்.

கதிரியக்க விளைவுகளைப்பற்றி அறிவதற்காகப் பயன்படுத்தப் படும் கதிர்வீச்சு அளவின் நடைமுறை அலகு ரேட் (rad) ஆகும். ரேட் என்ற அலகு பின்வருமாறு வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு கிராம் உயிரியல் பொருள் ஒரு ரேட் கதிர்வீச்சை ஏற்குமாயின் 100 எர்குகள் ஆற்றல் (அயனியாக்கும் துகள்கள் இழக்கும் ஆற்றல்) அப்பொருளுள் மறையும்.

1 ரேட் 100 எர்குகள்/கிராம் ஆற்றலை வெளியேற்றுகிறது.

ரேட் என்பது ராண்ட்ஜன் எனப்படும் பழைய அலகின் திரிபாகும்.

1r (ராண்ட்ஜன்) 83 எர்குகள்/கிராம் ஆற்றலை வெளியேற்றுகிறது.

இனி, ஓராண்டுக் காலத்தில் காஸ்மிக் கதிர்களால் அளிக்கப்படும் கதிர்வீச்சின் அளவை மதிப்பிடுவோம். விரைந்து செல்லும் மின்னூட்டத் துகள் ஒன்று 1 கன செ.மீ. நீர்வழியே செல்லும் பொழுது ஏறத்தாழ 2 Mev ஆற்றலை இழக்கிறது எனச் சோதனை கள் அறிவிக்கின்றன. கடல் மட்டத்தில் காஸ்மிக் கதிர் பாய்மம்

ஆண்டொன்றுக்கு ஒரு கிராம் நீருக்கு 4 எர்குகள் வீதம் ஆற்றலை வெளியேற்றுகிறது. இவ்வாறாக, காஸ்மிக் கதிர்களால் விளையும் இயற்கைக் கதிர்வீச்சின் அளவு ஏறத்தாழ ஓராண்டிற்கு 0.04 ரேட் அல்லது மனித ஆயுட் காலத்திற்கு (70 ஆண்டுகள்) 3 ரேடுகள் ஆகும். ஏறத்தாழ இதே அளவு கதிர்வீச்சு மண்ணிலும் பாறைகளிலும் இயற்கையிலேயே உள்ள கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகளிலிருந்தும் வருகிறது. எனவே இயற்கைப் பொருள்கள் மூலம் கிடைக்கக்கூடிய கதிர்வீச்சின் அளவு ஏறத்தாழ ஆண்டொன்றுக்கு 0.1 ரேட் அல்லது ஆயுட் காலத்திற்கு 7 ரேடுகள் ஆகும்.

கொல் அளவு (Lethal dose)

மனிதனொருவன் குறுகிய காலத்துள் அவனது உடல் முழுவதிலும் 400 ரேடுகள் கதிர்வீச்சை ஏற்பானாயின் அவன் 50% மரணமடையக்கூடும் என்னுமளவிற்கு அவன் உடலில் உயிரியல் சேதம் ஏற்படுகிறது. கதிர்வீச்சின் இந்த அளவு கொல் அளவு எனப்படுகிறது.

கொல் அளவு = 400 ரேடுகள்.

ஏறத்தாழ 200 ரேடுகள் அளவு கதிர்வீச்சு நோயை விளைவிக்கும். உடல் திசுக்களுள் சில வலுமீளும் திறன் (recuperation) பெற்றிருக்குமாதலால் பல ஆண்டுகளில் 400 ரேடுகளை ஏற்கும் ஒருவர் அவரது உடல்நிலை மிகவும் பாதிக்கப்படுமெனினும் உயிர்வாழ முடியும்.

ஏற்பளவு (Permissible dose)

பல தொழில் துறைகளிலும் ஆராய்ச்சித் துறைகளிலும் கதிரியக்கப் பொருள்கள் பங்கு பெறுகின்றன. ஆண்டொன்றுக்கு 5 ரேடுகள் (வாரமொன்றிற்கு 100 மிலிரேடுகள்) அளவை அத்தகைய துறைகளில் வேலைசெய்யும் கதிரியக்கத் தொழிலாளர்கள் பெறக்கூடிய கதிர்வீச்சின் பெரும அளவாக அனைத்துலகக் கதிரியக்கப் பாதுகாப்புக் குழு 1957-ல் நிர்ணயித்தது.

கதிரியக்கத் தொழிலாளர்களின் ஏற்பளவு

= ஆண்டொன்றுக்கு 5 ரேடுகள்.

50 ஆண்டு வேலைக்காலத்திற்கு இந்த அளவானது இயற்கைக் கதிரியக்கத்திலிருந்து பெறப்படும் அளவைப்போல் ஏறத்தாழ 40 மடங்கு உள்ளது என்பதைக் காணலாம். பொதுமக்களின் பெரும ஏற்பளவுதுறை மக்களின் (Occupationally exposed people) ஏற்பளவில் 10% ஆகும்.

சராசரி குடிமக்களின் ஏற்பளவு

= ஆண்டொன்றுக்கு 0.5 ரேடு அல்லது

= ஆயுட் காலத்திற்கு 30 ரேடுகள்

இந்த அளவானது இயற்கைக் கதிர்வீச்சிலிருந்து கிடைக்கப்பெறும் கதிர்வீச்சைப்போல் ஏறத்தாழ நான்கு மடங்காகும். அமெரிக்கர்கள் இயற்கைக் கதிர்வீச்சிற்கு ஏறத்தாழ சமமான அளவு கதிர்வீச்சை முக்கியமாக X கதிர்களின் மருத்துவப் பயன் மூலமாகப் பெறுகிருர்கள். 1960ஆம் ஆண்டு கணக்கீட்டின்படி அணுக்கருவிகளின்படி சோதனையின் பயனுய் விளேயும் கதிரியக்கத்தின் சராசரி அளவு மிகவும் குறைந்ததாயிருந்தது.

ஏற்பளவைவிடக் குறைந்த அளவு கதிர்வீச்சு தீங்கு பயக்காது என்னும் தவருன கருத்து பரவியுள்ளது. உண்மையில் எந்தக் கதிர்வீச்சும் உயிரியல் சேதத்தை விளேவிக்கிறது. கதிர்வீச்சிஞல் உருச் சிதைக்கப்பட்ட ஒரு குரோமசோம் அந்த உருச் சிதைக்கப்பட்ட நிலேயிலேயே இனப்பெருக்கம் செய்யும். மரபுப் பண்பியல் விஞ்ஞானத்தில் பல ஐயப்பாடுகள் உள்ளன; அக் கதிர்வீச்சில் ஏற்படும் அதிகரிப்பு அது எவ்வளவு சிறியதாயினும் குரோமசோம்களின் சிதைவு வீதத்தை அதிகரிக்கும். மனித இனத்தில் இச் சிதைவு வீதமானது பிறக்கும் குழந்தைகளில் ஏறத்தாழ 3 சத வீதத்தினர், பெருமளவு முரண்பட்டவர்களாக (Serious abnormalities) இருக்குமளவுக்கு அதிகமாக உள்ளது. இவ்வாருக பொருநர்களுக்கு (Beligrants) விளேவிக்கப்படும் எல்லேயற்ற சேதங்களால் மட்டுமன்றி உலகெங்கும் கதிர்வீச்சு அளவில் ஏற்படும் மிகுதிப்பாட்டிஞல் அனேத்துலக மக்கள் பாதிக்கப்படுவதாலும் அணுக்கருப் போர்முறை அஞ்சப்படுகிறது.

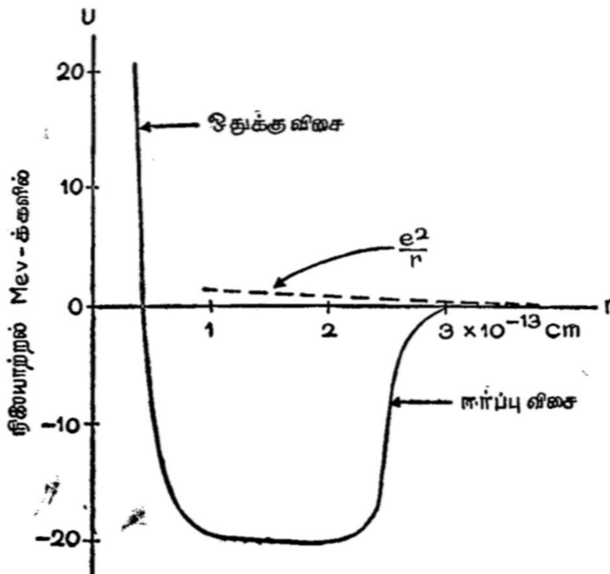
15.5 நியூக்ளியான்—நியூக்ளியான் விசை

அணுக்கரு 'அணு'வின் அடிப்படை விசை

ளௌதிகத்தின் முக்கிய நோக்கமானது எல்லா பௌதிக நிகழ்ச்சிகளேயும் குறைந்த எண்ணிக்கையுள்ள, எளிய, அடிப்படைத் தத்துவங்களின் மூலமாக விளக்குவதே ஆகும். பொருட்கள் எலெக்ட்ரான்களாலும் அணுக்கருக்களாலும் ஆனவையாதலால் எலெக்ட்ரான்கள், அணுக்கருக்கள், ஃபோட்டான்கள் ஆகியவற்றின் அடிப்படைச் செயலெதிர்ச் செயல்களேப்பற்றிய ஆராய்ச்சியே இதுவரை நமது நோக்கமாய் இருந்தது. இந்த நோக்கத்தில் பெரும் வெற்றி பெற்ருேம் என்பதை சென்ற இயலில்

கண்டோம். பருப்பொருள்களின் அமைப்பு மற்றும் செயலெதிர்ச் செயல்களைப்பற்றிய முழு விளக்கத்தை (கணக்கிடுவது கடினமாயினும்) சென்ற இயல் அளித்தது. உண்மையில் நவீன குவாண்டம் மின் விசையியல் கொள்கையானது ஆதனை அணுப்பௌதிகத்தில் பயன்படுத்தும்பொழுது அளவீட்டால் பெறுவதைக் காட்டிலும் அதிகத் துல்லியமான முடிவுகளை முன்னுரைக்கும் அளவுக்குத் திறம் பட்டதாக உள்ளது. இதுவரை இத்துறையில் காணப்பட்ட சில சோதனை முடிவுகள் கோடியில் ஒரு பங்குக்குத் துல்லியமாக அமைகின்றன. இத்தகைய நுட்ப ஆராய்ச்சிக்குப் பின்னும் கொள்கைக்கும் சோதனைக்கும் எவ்வித முரண்பாடும் காணப்படவில்லை.

மாறாக, குவாண்டம் மின்விசையியலானது, புரோட்டான்களாலும் நியூட்ரான்களாலும் ஆக்கப்பட்டுள்ளது என்று தற்பொழுது நாமறியும் அணுக்கருவின் அமைப்பிற்கு விளக்கம் கூற முடியாது. அணுக்கருவிற்குள் புரோட்டான்களை அவ்வளவு நெருக்கமாகப் பிணைத்திருக்கக்கூடிய விசையை விளக்குவதற்கு ஒரு புதிய அடிப்படை விசையியல்விதி தேவைப்படுகிறது. இவ் விசையானது புரோட்டான்களிடையே உள்ள நிலைமின்னியல்



படம் 15-6

அடிப்படை நியூக்ளியான்—நியூக்ளியான் விசையின் நிலையாற்றல் வரைபடம்

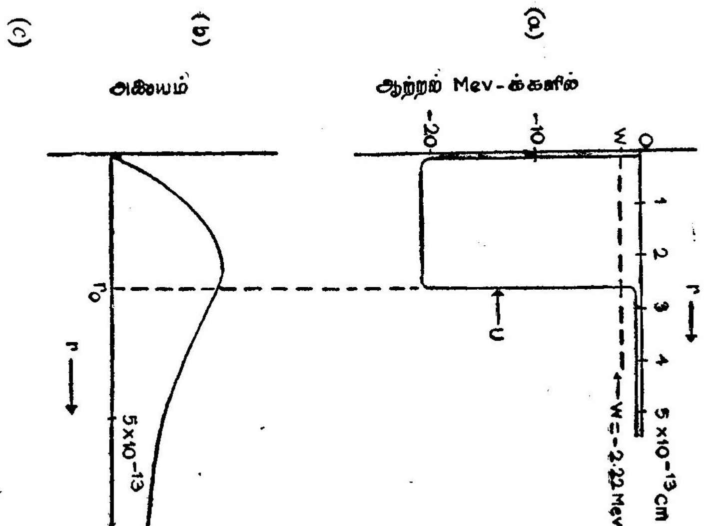
ஒதுக்குவிசையை விஞ்சி மேம்படும் அளவிற்கு நிலைமின்னியல் வலிமை மிக்கதாக அமைய வேண்டும். அணுக்கரு விசை (Nuclear force) அல்லது வன்செயலெதிர்ச் செயல்கள் (Strong interaction) எனப்படும் இப்புதிய விசையானது நிலைமின்னியல் விசையைவிட ஏறத்தாழ நூறு மடங்கு வலிமைமிக்கதாக உள்ளது.

வலுக்குறைந்த நிலைமின் ஒதுக்குவிசையைத் தவிர, வலிமை மிக்க புரோட்டான்—நியூட்ரான் மற்றும் நியூட்ரான்—நியூட்ரான் போன்ற அணுக்கரு விசைகள் எல்லாம் நியூக்ளியான்—நியூக்ளியான் விசை என்ற வகையினைச் சார்ந்தவை. இவ் விசையின் விரிவான வடிவம் இதுவரையில் அறியப்படவில்லையாயினும் இரு நியூக்ளியான்களுக்கு இடையேயான நிலையாற்றலின் நயமற்ற வரையுருப் படத்தைப் படம் 15-6-ல் காணலாம். இரு புரோட்டான்களுக்கிடையேயான மின்நிலையாற்றல் e^2/r வரையுருப்படம் ஒப்பிடுதலுக்காகக் காட்டப்பட்டுள்ளது (புள்ளிக்கோடு). இந்த அணுக்கரு விசையும்கூட அணுக்கருச் சுழற்சிகள் ஒரிணையாக இருக்குமாயின் படம் 15-6-ல் காட்டப்பட்டுள்ள சிறப்புத் தன்மையைப் பெற்றிருக்கும்: மாறாக, சுழற்சிகள் எதிரிணையாக இருப்பின் அணுக்கரு விசையானது குறிப்பிடத்தக்க அளவு வலுக் குன்றியிருக்கும். படம் 15-6-ல் காட்டப்பட்டுள்ள நிலையாற்றல் கிணற்றின் ஆழத்தை டியூட்ரானின் பிணைப்பாற்றலிலிருந்து மதிப்பிட முடியும் என்பதை அடுத்த இயலில் காணலாம். இந்த நிலையாற்றல் கிணற்றின் வடிவத்தைப் பற்றிய மேலும் விளக்கமான தகவல்கள், புரோட்டான்-புரோட்டான் மற்றும் நியூட்ரான்-புரோட்டான் சிதறல் சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கின்றன. புரோட்டான்-புரோட்டான் சிதறல் ஒன்றைப் படம் 3-2-ல் காணலாம்.

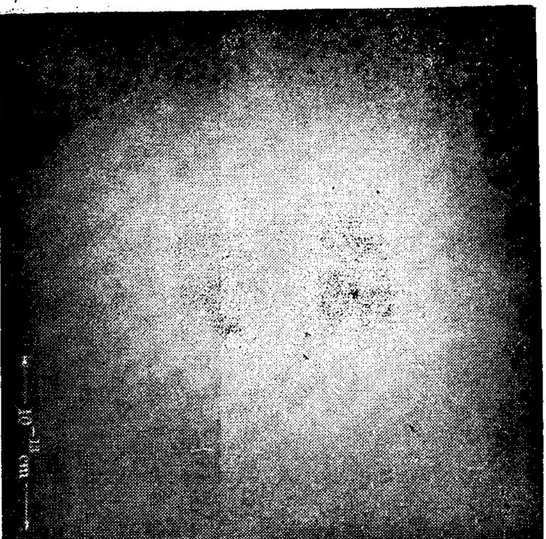
15-6 அணுக்கருவின் அமைப்பு

'' நியூக்ளியான்களின் சுற்றுப்பாதைகள் ''

அணுபௌதிகத்தில் எளிதாக ஆராயப்படக்கூடிய ஒரே ஒரு அணு ஒரு புரோட்டானையும் ஒரு எலெக்ட்ரானையும் மட்டும் கொண்ட ஹைடிரஜன் அணுவாகும். அணுக்கரு அமைப்பிலும் இதே நிலையைத்தான் நாம் கொண்டுள்ளோம்: நாம் எளிதில் ஆராயக்கூடிய அணுக்கருவானது ஒரு புரோட்டானையும் ஒரு நியூட்ரானையும் மட்டுமே கொண்ட டியூட்ரான் ஆகும். டியூட்ரானில் நியூட்ரானும் புரோட்டானும் 2.22 Mev ஆற்றலுடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன.



(c)



படம் 15-7

(*a*) நியூட்ரான் புரோட்டான் விசைக்கான தோராயமான நிலையாற்றல் கிணறு. (*b*) சிறும ஆற்றல் அலையம். இந்நிலைக்குரிய ஆற்றல் $W = -2.2$ Mev ஆகும். (*c*) டியூட்ரியம் அணுக்கருவில் அணுக் கருப்பொருளின் பரப்பீடு. வெண்மையின் அளவு இத்தளத்தில் வீழ்த்தப்பட்ட அலையத்தின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது.

மாதிரிக் கணக்கு

டியூட்ரான், புரோட்டான், நியூட்ரான் ஆகியவற்றின் நிறைகள் முறையே 1875.49 Mev, 938.21 Mev, 939.50 Mev ஆகும். டியூட்ரியம் அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றலைக் கணக்கிடுக.

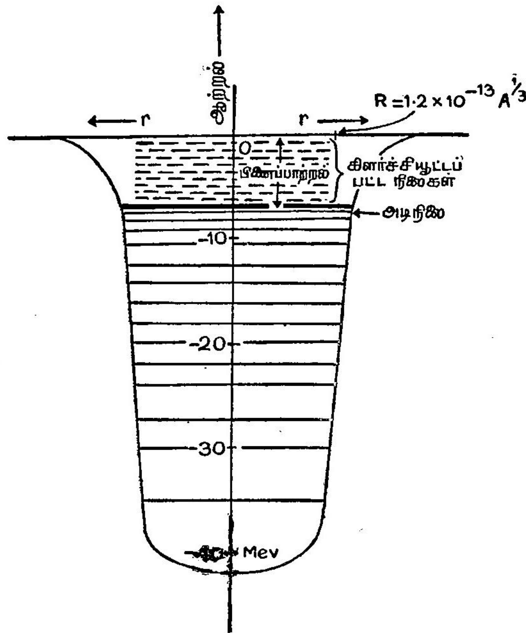
மொத்தப் பிணைப்பாற்றலானது தனித்தனி நியூக்ளியான்களின் நிறைகளின் கூட்டுத்தொகைக்கும் அணுக்கருவின் நிறைக்குமுள்ள வேறுபாடாகும். எனவே

பிணைப்பாற்றல் $= (M_P + M_N) - M_D = 2.22$ Mev

ஹைடிரஜன் அணுவில் உள்ளதைப்போலவே இரு துகள்களுக்குமிடையேயுள்ள விசையை அறிவோமாயின் இப் பிணைப்பாற்றலைக் கணக்கிட முடியவேண்டும். படம் 15-6-ல் காட்டப்பட்டுள்ள நிலையாற்றலுக்குரிய சிறும ஆற்றல் அலையத்தைக் (Lowest order wave function) காண்பதொன்றே இங்குள்ள பிரசினை ஆகும். முதல்நிலைத் தோராயமான இந் நிலையாற்றலை $r_0 = 2.5 \times 10^{-13}$ செ.மீ. ஆரமுள்ள 'சதுரக் கிணருக' வரையலாம். இதனைப் படம் 15-7*a*-ல் காணலாம். படம் 15-7*b*-ல் உள்ள சிவப்புக் கிடைக்கோடு சிறுமப்படிநிலை அலைக்குரிய W-ஐக் குறிக்கிறது. $r < r_0$ பகுதியில் உள்ள அலையம் ஒரு சைன் அலையாக இருக்கவேண்டும் (இப் பகுதியில் அது மாறுத உந்தத்தைப் பெற்றிருப்பதால் λ மாறுமல் இருக்கிறது). $r > r_0$ பகுதியில் அலையமானது மெதுவாகக் குறையும் எக்ஸ்பொனென்ஷியல் ஆகும். 'சதுரக் கிணறு' நிலையாற்றலான சிறப்பு நேர்வில் இந்தச் சிறுமப்படி அலையத்துக்குரிய ஆற்றல் மட்டம் W-ஐக் குவாண்டம் விசையியலைப் பயன்படுத்தி எளிதில் கணக்கிடலாம். r_0-ன் மதிப்பு $\lambda/4$-ஐ விடச் சற்றே அதிகமாக உள்ளது அல்லது $\lambda \approx 4r_0$ என்ற உண்மையின் அடிப்படையில் ஆற்றல் W மதிப்பிடப்படுகிறது. அவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட W-ன் மதிப்பு -2.22 Mev ஆகும். இது சோதனையியல் முடிவுடன் ஒத்திருக்கிறது. உண்மையில் இங்கு கூறப்படும் கருத்துக்கள் வரலாற்றைப் பின்னேக்கும் வகையில் அமைந்துள்ளன. நியூட்ரான்-புரோட்டான் சிதறல் போன்ற பல சோதனைகளின் முடிவுகளும் டியூட்ரானின் பிணைப்பாற்றலும் நியூக்ளியான்-நியூக்ளியான் விசையை மதிப்பிடப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன (படம் 15-6). டியூட்ரான் அலையமானது $r = 5 \times 10^{-13}$ சென்டி மீட்டருக்கு அப்பாலும் பரவியுள்ளது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இவ்வாருக, டியூட்ரானனது எடைமிக்க அணுக்கருக்களை விடக் குறைவான அடர்த்தியைக் கொண்டுள்ளது.

எடைமிக்க அணுக்கருக்கள் :

எடைமிக்க அணுக்கருக்களில் நியூக்ளியான்களின் மிகுதியான அடர்த்திக்கான காரணத்தைப் பின்வரும் கருத்திலிருந்து அறியலாம். s இடைவெளிகளில் அடுத்துள்ள பல கட்டுறு நியூக்ளியான்களைக் கருதுவோம். அவற்றைச் சிறிது சிறிதாக நெருக்குவோம் (s-ஐக் குறைப்போம்). s-ன் மதிப்பு 2.5×10^{-13} செ.மீ.-ஐ விடக் குறையும்பொழுது நியூக்ளியான்கள் திடீரென்று அவற்றைச் சுற்றியுள்ள நியூக்ளியான்களின் வலிமையான ஈர்ப்பு விசையை உணருகின்றன; அதற்கேற்ப அவற்றின் பிணைப்பாற்றல் அதிகமாகிறது. மாறாக, கட்டுறு எலெக்ட்ரான்கள் நெருக்கப்படும்பொழுது பௌலியின் தத்துவத்தின் பயனாய் அவற்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் அதிகமாகவேண்டும் (சமன் 14-1) என இயல் 14-ல் அறிந்தோம். புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் கூட சுழற்சி-$\frac{1}{2}$ துகள்களாதலால் அவைகளும் பௌலியின் தத்துவத்திற்கு உட்படவேண்டும். இவ்வாறாக, தவிர்க்கைத் தத்துவமானது s குறையும்



படம் 15-8

R ஆரமுடைய அணுக்கருவில் உள்ள ஒரு நியூட்ரான் உணரும் சராசரி அணுக்கரு நிலையாற்றல் (Nuclear potential). தடித்த சிவப்புக் கோடுகள் நியூட்ரான் அமைந்துள்ள நிலைகளையும் புள்ளிக் கோடுகள் நியூட்ரான் அமையக்கூடிய அல்லது கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலைகளையும் குறிக்கின்றன.

பொழுது பிணைப்பாற்றலைக் குறைக்கிறது. நற்பயன் வசமாக இவ்விரு விளைவுகளுக்குமிடையே பெரும் பிணைப்பாற்றல் இருக்கும் வகையில் நியூக்ளியான்-நியூக்ளியான் ஈர்ப்பு விசையானது வலிமை மிக்கதாக உள்ளது. (நியூக்ளியான்-நியூக்ளியான் விசையானது இப்போது உள்ளதை விட 30% வலுக்குன்றியிருக்குமாயின் தவிர்க்கைத் தத்துவத்தின் விளைவு மேலோங்கி நின்று, எந்த அணுக்கருவும் காணப்பெறாது). பெருமப் பிணைப்பாற்றலை அளிக்கக்கூடிய s-ன் மதிப்பு அணுக்கருவின் அளவை வரையறுக்கிறது. சமன் 15–2-ன் உதவியால் மதிப்பிடப்பட்ட சோதனையியல் மதிப்பு $s = 1.9 \times 10^{-13}$ செ.மீ. ஆகும்.

அடுத்து, எடை மிக்க அணுக்கரு ஒன்றினுள் உள்ள ஒற்றை நியூட்ரான் ஒன்றைக் கருதுவோம். அந்த நியூட்ரான் அணுக்கருவில் உள்ள மற்ற நியூக்ளியான்களின் சராசரி விசையை உணருகிறது. இயல் 14-ல் இதற்கொத்த நிலை ஒன்றைக் கண்டோம்; அங்கு ஒரு உலோகத்திலுள்ள கட்டுறு எலெக்ட்ரான் ஒன்று ஒரு நிலையாற்றலை உணருகிறது. நமது நியூட்ரான் காணக்கூடிய சராசரி நிலையாற்றலைப் படம் 15-8-ல் காணலாம். அது சுமார் 42 Mev ஆழமுடையதாக உள்ளது. உண்மையில் இந்த நிலையாற்றல் கிணற்றினுள் A/2 நியூட்ரான்கள் குவிந்துள்ளன. பௌலித் தத்துவத்தின் பயனாய் அவை ஃபெர்மி மட்டம் வரை அமைந்த வெவ்வேறு நிலைகளில் அல்லது ஆற்றல் மட்டங்களில் இடம்பெற்றுள்ளன.

மாதிரிக் கணக்கு

படம் 15-8-ல் காட்டப்பட்டுள்ள நிலையாற்றல் கிணற்றினுள் அமைந்துள்ள A/2 நியூட்ரான்களுக்கான ஃபெர்மி மட்டம் என்ன?

சமன் 14-1-ன்படி பெரும ஆற்றல் நியூட்ரான் ஒன்று

$$KE_0 = \frac{h^2}{8M}\left(\frac{3}{\pi}\mathcal{N}\right)^{2/3}$$

என்ற இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது. $\mathcal{N}$ என்பது ஒரு கன சென்டி மீட்டரிலுள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையானது சமன் 15-2-லிருந்து கிடைக்கப்பெற்ற மதிப்பில் ஏறத்தாழ பாதியாகும். எனவே,

$$KE_0 = \frac{h^2}{8M}\left(\frac{3}{\pi} \times 0.69 \times 10^{38}\right)^{2/3}$$

$$= \frac{(6.62 \times 10^{-27})^2}{8 \times 1.67 \times 10^{-24}} \times (66 \times 10^{36})^{2/3}$$

$$= 54 \times 10^{-6} \text{ எர்குகள்}$$

$$KE_0 = 33.7 \text{ Mev}$$

நியூட்ரான் இடம்பெறக்கூடிய மிக உயர்ந்த ஆற்றல் மட்ட மானது நிலையாற்றல் கிணற்றின் ஆழத்திலிருந்து ஏறத்தாழ 34 Mev உயரத்திலுள்ளது அல்லது சுழி ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து 8 Mev கீழே உள்ளது என்பதை மேற்கண்ட கணக்கிலிருந்து அறிகிறோம். இது, படம் 15-1-ல் காட்டப்பட்டுள்ள குறிப்பு களுடன் பொருந்துகிறது. நியூட்ரான்களைப் பற்றி மட்டுமே ஆராய்ந்துள்ளோமெனினும் புரோட்டான்களும் ஏறத்தாழ இதே சராசரி நிலையாற்றலை உணர்வதோடு ஏறத்தாழ இதே ஆற்றல் மட்டங்களையும் பெற்றுள்ளன.

கூட்டுப் படிவம் (Shell model)

படம் 15-8.ல் காட்டப்பட்டுள்ள நியூட்ரான் மட்டங்களுள் ஒவ்வொன்றும் ஒரு வரையறுக்கப்பட்ட அலையம் அல்லது வரை யறுக்கப்பட்ட ஆற்றல் மற்றும் கோண உந்தத்தையுடைய 'சுற்றுப்பாதை'க்குரியன. நியூட்ரான்கள் நிறைந்துள்ள ஆற்றல் மட்டங்களுக்கும் கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட உயர் மட்டங்களுக்கும் இது பொருந்தும். இந்த ஆற்றல்களையும் கோண உந்தங் களையும் கொள்கையியலாகக் கணக்கிடமுடியும். அவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட மதிப்புகள் சோதனையியல் மதிப்புகளுடன் பெரிதும் பொருந்துகின்றன. படம் 15-9 அவ்வாறு கணக்கிடப் பட்ட ஒவ்வொரு நிலைக்குமுரிய ஆற்றல்களையும் கோண உந்தங் களையும் காட்டுகிறது. இந்த ஆற்றல் மட்டங்கள், ஒரு நியூக்ளி யான் மீதான விசையானது அதன் சுழற்சிக் கோண உந்தமும் சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்தமும் ஒரே திசையிலிருப்பின் மிகுதியாக இருக்கும் என்ற உண்மையைக் கருத்திற்கொண்டு படம் 15-8-ல் காட்டப்பட்டுள்ள நிலையாற்றல் கிணற்றின் ஆற்றல் மட்டங்களை மாற்றியமைக்கப்பட்டவையாகும். சுழற்சி மற்றும் சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்தங்களின் கூட்டுத்தொகை மொத்தக் கோண உந்தம் j ஆகும். $N = 5$, $l = 4$, $j = 9/2$ கூடு முற்றும் நிரப்பப்பட்டுள்ள அணுக்கரு ஒன்று மொத்தம் 50 நியூட்ரான் (அல்லது புரோட்டான்)களைக் கொண்டுள்ளது என்பதை நாம் காண்கிறோம். இந்த ஆற்றல் கூட்டிற்கும் அடுத்த உயர்ந்த ஆற்றல் கூட்டிற்குமிடையே மிகுந்த ஆற்றல் வேறுபாடு இருப் பதையும் படம் 15-9-லிருந்து காணலாம். இவ்வாறாக, 50 நியூட் ரான்களையோ (A-Z = 50) 50 புரோட்டான்களையோ (Z = 50) கொண்டுள்ள அணுக்கருக்கள் வலிமையுடன் பிணைக்கப்பட்டு குறிப்பாக நிலையாக இருக்கும் என எதிர்பார்க்கலாம். இது சோதனையியல் முடிவுகளுடன் பொருந்துகிறது. காட்டாக, ஈயமானது (Z = 50) 10 நிலையான ஐஸோட்டோப்புகளைக் கொண்டுள்ளது. இந்த எண்ணிக்கை மற்ற தனிமங்கள் எதற்கும்

உள்ளதைவிட அதிகமாகும். மேலும் இயற்கையில் 50 நியூட்ரான்கள் அல்லது 50 புரோட்டான்களைக் கொண்ட அணுக்கருக்கள் 51 நியூட்ரான்கள் அல்லது புரோட்டான்களைக் கொண்டுள்ள அணுக்கருக்களைவிட அதிக அளவில் உள்ளன என்பது தெளிவாக அறியப்பட்ட செய்தி. கூட்டுப் படிவமானது அதன் தற்போதைய வடிவில் அணுக்கருக்களின் எல்லாப் பண்புகளையும்

ஆற்றல் மட்டங்கள்

N	l	j	ஓர் ஆற்றல் கூட்டிற்கான நியூக்ளியான்களின் எண்ணிக்கை
4	0	1/2	2
5	2	3/2	4
6	4	7/2	8
5	2	5/2	6
7	6	11/2	12
6	4	9/2	10
5	3	5/2	6
4	1	1/2	2
7	6	13/2	14
4	1	3/2	4
5	3	7/2	8
6	5	9/2	10
3	0	1/2	2
6	5	11/2	12
4	2	3/2	4
4	2	5/2	6
5	4	7/2	8
5	4	9/2	10
3	1	1/2	2
3	1	3/2	4
4	3	5/2	6
4	3	7/2	8
2	0	1/2	2
3	2	3/2	4
3	2	5/2	6
2	1	1/2	2
2	1	3/2	4
1	0	1/2	2

50

படம் 15-9

சுழற்சி—சுற்றுப்பாதை செயலெதிர்ச் செயல் விளைவையும் கருத்திற்கொண்டு கணக்கிடப்பட்ட அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்களின் இடையிடங்கள். (சுழற்சி மற்றும் சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்தங்கள் இணையாக இருப்பின் விசை அதிகமாக இருக்கும்). ஹைடிரஜன் அணுவில் உள்ளதுபோல் ஒவ்வொரு ஆற்றல் மட்டம் அல்லது 'கூடு'ம் குவாண்டம் எண் m-க்குரிய துணைக் கூடுகளைக் கொண்டுள்ளன. இத்துணைக் கூடுகளை நிரப்புவதற்குத் தேவையான நியூக்ளியான்களின் மொத்த எண்ணிக்கையை வலப்பக்கத்தில் காணலாம்.

விளக்குவதில்லை. எனினும், அது பெரிதும் வெற்றி பெற்றுள்ளதோடு மேற்கொண்டு முன்னேற்றத்திற்கான நல்வாய்ப்பையும் பெற்றுள்ளது.

15-7 அணுக்கருப் பிளவை

'மக்களுக்கே பயன்படும் அணுக்கருப்பிளவை' D. H. வில்கின்சன் (D. H. Wilkinson)

இக்கூற்று, அணுக்கருப் பிளவிலிருந்து அறியக்கூடிய அடிப்படை முக்கியம் வாய்ந்த கருத்து எதுவும் இல்லை என்பதையே கூறுகிறது. மிகப்பெரும் அணுக்கருக்களில் நிலைமின் ஒதுக்கு விசை மேலோங்கி நின்று அவைகளை, அவற்றின் பாதியளவேயான அணுக்கருக்களைவிடக் குறைந்த வலுவுடன் பிணைவுறச் செய்கின்றன எனப் பிரிவு 15-1-ல் கண்டோம். எனவே பெரிய யுரேனியம் அணுக்கரு ஒன்றை ஒருவர் இரு கூறுக்குவாராயின் கிடைக்கப்பெறும் நியூக்ளியான்களின் இரு தொகுதிகளும் மேலும் வலுவாகப் பிணைக்கப்பட்ட இரு அணுக்கருக்களை அமைக்கும். அவ்வாறு அமைக்கும்பொழுது அவை ஆற்றலை வெளிவிடும். ஆற்றல் அழிவின்மையானது தன்னிச்சையான பிளவை அனுமதிப்பதை நாம் காண்கிறோம். எனினும் இயற்கையில் காணப்பெறும் அணுக்கருக்களில் தன்னிச்சைப் பிளவுக்கான (Spontaneous fission நிகழ்திறமானது α-சிதைவுக்கு உள்ளதையும்விடக் குறைவாக இருக்குமளவிற்கு நிலையாற்றல் அரண் வலுமிக்கதாயுள்ளது (பார்க்க பிரிவு 14-5). காட்டாக, U^{238}-க்கு தன்னிச்சைப் பிளவினால் மட்டும் விளையும் அரை ஆயுள் 8×10^{15} ஆண்டுகளாக்கும். இது புவியின் வயதைப்போல் ஒரு மில்லியன் மடங்குக்கு மேற்பட்டதாகும். மாறாக, அத்தகைய அணுக்கரு ஒன்று ஒரு நியூட்ரானால் தாக்கப்படின் அது நிலைமின்னியல் நிலையாற்றல் அரணின் உச்சிக்கருகிலுள்ள உயர் ஆற்றல் மட்டத்திற்குக் கிளர்ச்சியூட்டப்படக்கூடும்; அந்நிலையில் அது பிளவிற்கான அதிக நிகழ்திறனைப் பெற்றிருக்கக்கூடும். யுரேனியம் அணுக்கருவிற்கும் பிளவில் கிடைக்கக்கூடிய அணுக்கருக்களுக்கும் உள்ள நிறை வேறுபாடானது சராசரி யுரேனியம் பிளவில் 200 Mev ஆற்றல் வெளியிடப்படும் அளவிற்கு உள்ளது.

மாதிரிக் கணக்கு

1 கிராம் யுரேனியம் பிளவுறும்போது எத்தனை எர்குகள் ஆற்றல் வெளிவிடப்படும்? யுரேனியம் அணுக்கரு ஒன்றின் ஓய்வு நிறை 2.2×10^5 Mev.

ஆற்றலாக மாற்றப்பட்ட நிறையானது மொத்த நிறையில் 200 Mev $\div$ 2.2×10^5 Mev அல்லது 9×10^{-4} பகுதியாகும். எனவே, ஏறத்தாழ யுரேனியம் நிறையின் 1%-ல் பத்திலொரு பகுதி பயனுறு ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது. எந்தப் பொருளின் 1 கிராம் நிறையும் $Mc^2 = 9 \times 10^{20}$ எர்குகளைப் பெற்றிருப்பதால் 1 கிராம் யுரேனியம் வெளிவிடும் ஆற்றல்

$$W = 9 \times 10^{-4} \times 9 \times 10^{20} \text{ எர்குகள்} = 8.1 \times 10^{17} \text{ எர்குகள்} \quad (15.8)$$

இம்மதிப்பை 1 கிராம் நிலக்கரி எரிவதால் கிடைக்கும் 2.9×10^{11} எர்குகளுடனும் ஒப்புநோக்கும்போது யுரேனியப் பிளவு எரிபொருளானது ஏறத்தாழ மூன்று மில்லியன் மடங்கு திறனுள்ளதாக இருப்பதை நாம் காண்கிறோம். மாறாக, ஒரு கிராம் நிலக்கரியைவிட விலை மிக்கதாகும். எனினும். ஒரு எர்க் ஆற்றலுக்கான விலை யுரேனிய எரிபொருளுக்குரியதைவிட நிலக்கரிக்கு 400 மடங்கு அதிகமாக உள்ளது. இதனாலேயே மின்னுற்றல் உற்பத்தியில் அணு உலைகளின் பயன் விரைவாக அதிகமாகிக் கொண்டுவருகிறது.

அணுக்கருப் பிளவை ஒரு தொடர்வினை நிகழ்ச்சியின் மூலமாகத் தன்னியக்கமுள்ளதாக (Self sustaining)ச் செய்யலாம். ஒவ்வொரு பிளவும் 2 அல்லது 3 நியூட்ரான்களை வெளிவிடுகிறது. அந்நிலையில், இந்த நியூட்ரான்களுள் ஒன்று மற்றொரு யுரேனியம் அணுக்கருவில் பிளவைத் தூண்டும் முயற்சியில் வெற்றிபெறுமாயின் பிளவு நிகழ்ச்சி தன்னியக்கமுள்ளதாக அமையும். இந்த நிபந்தனை (Criterion)க்கேற்ப அமைந்த பிளவுறு பொருளின் திரள் (Assembly) பயனுறுங்கு திரள் (Critical assembly) என அழைக்கப் பெறுகிறது. அணு உலை எனப்படும் அத்தகைய திரள்களுள் முதலாவது சிக்காகோ பல்கலைக்கழகத்தின் விளையாட்டுக்கூடம் (Squash court) ஒன்றில் என்ரிக்கோ ஃபெர்மியால் அமைக்கப் பட்டது. "இங்கு டிசம்பர் 2, 1942-ல் முதல் தொடர்வினையை மனிதன் எய்தப்பெற்றதன் பயனாய் கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அணுக் கரு ஆற்றல் வெளியீட்டைத் துவக்கிவைத்தான்'' எனப் பொறிக் கப்பட்ட வெண்கலப் பலகை ஒன்று இந்த கூடத்திற்கு வெளியே பொருத்தப்பட்டுள்ளது.*

*இந்நூலை எழுதிமுடித்தபின் சிக்காகோ பல்கலைக்கழகத்திற்குச் சென்ற நூலாசிரியர் விளையாட்டுக் கூடமும் வெண்கலப் பலகையும் இருந்த இடம் வெற்றிடமாகக் காட்சியளிக்கக் கண்டார். அணுக்காலத்தின் பிறப்பிடம் அழிக்கப்பட்டுவிட்டது.

U^{235} அல்லது Pu^{239} திரள் ஒன்றைக்கூட பயன்மிக்கோங்கு தன்மையுடையதாகச் செய்யலாம். இங்கு ஒரு பிளவிலிருந்து தோன்றும் நியூட்ரான்கள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட துணைப் பிளவு களைத் தூண்டும். நியூட்ரான்கள் 10^8 செ.மீ./வினாடிக்கு மேற் பட்ட திசை வேகங்களுடன் இயங்குவதால் மாறுநிலை கடந்த ஒரு திரள் முழுவதும் 1/1000 வினாடிக்குள் பயன்படுத்தப்பட்டுவிடும் (அல்லது பிளவுபட்டுவிடும்). இத்தகைய கருவி அணுகுண்டு என அழைக்கப்பெறுகிறது. புளூட்டோனியக் கோளம் ஒன்றை மாறு நிலை கடந்த திரளாக மாற்றுவதற்கான பொதுவானமுறை அமுக்கித் தகர்க்கும் (Implosion) முறையாகும். பயனுறு நிலையி லுள்ள புளூட்டோனியக் கோளம் ஒன்று வேதியியல் வெடி பொருட்களால் சூழப்பட்டிருக்கும். இந்த வெடிபொருட்கள் திசை வேகங்களுடன் இயங்குவதால் மாறுநிலை கடந்த ஒரு திரள் வெடிக்கும்போது புளூட்டோனியக் கோளம் கணநேரத்தில் அமுக்கப்படுகிறது. அந்நிலையில் அதன் அடர்த்தி குறிப்பிடத்தக்க அளவு அதிகமாகுமாதலால் அதிலிருந்து நியூட்ரான்கள் வெளிச் செல்லும் வீதத்தைவிட விரைவாக நியூட்ரான்களை உட்கவரும். இதுவே பயனுறுங்கு தன்மைக்குத் தேவையான நிபந்தனையாகும். அணுக்குண்டு வெடிப்பைப் போதிய அளவுப் பயனுடையதாகச் செய்யலாம் என்பது வெளிப்படைத் தெளிவாகும் (புளூட்டோனி யத்தின் பெரும்பகுதி வெடித்துச் சிதறாமல் பயன்படுத்தப்படு கிறது). ஒரு டன் TNT, 10^9 கேலரிகள் அல்லது 4×10^{16} எர்கு களை வெளிவிடும் அளவிற்கு வேதியியல் ஆற்றல்கள் உள்ளன. 1 கி.கி. புளூட்டோனியம் அல்லது U^{235}-ஐச் சுட்டெரிக்கும் ஒரு அணுக்குண்டு 8×10^{20} எர்குகள் அல்லது ஒரு டன் TNT-ஐப் போல் 20,000 மடங்கு ஆற்றலை வெளிவிடும் திறமைப் படைத் துள்ளது என்பதைச் சமன் 15–8 லிருந்து காணலாம். இது 20 கிலோ டன் அணுக்குண்டு என அழைக்கப்படுகிறது. தற்போ துள்ள மெகா டன் அணுக்குண்டுகள் TNT வெடிகுண்டுகளைப் போல் ஏறத்தாழ மிலியன் மடங்கு தீங்கு பயப்பதோடன்றி பயன் படுத்தப்பட்ட ஒவ்வொரு கிராம் புளூட்டோனியம் அல்லது U^{235}-ம் தொடக்கத்தில் கதிரியக்கமுள்ள ஒரு கிராம் பிளவு விளை பொருட்களை விளைவிக்கும். இது மிக அதிக அளவிலான கதிரியக்கமாகும்.

15-8 அணுக்கரு இணைவு

$$2 + 2 = 3.975$$

டியூட்ரியத்தின் நிறை 2 என்ற அடிப்படையில் ஹீலியத்தின் நிறை 3.975 ஆக இருக்கும். இவ்வாறாக. இரு டியூட்ரான்களை ஒரு ஹீலியம் அணுக்கருவாகஇணைக்கும்பொழுது டியூட்ரான்களின்

மொத்த நிறையின் 1%-ல் 6/10 பகுதி ஆற்றலாக மாற்றப்படு கிறது. இந்த அணுக்கரு இணைவு நிகழ்ச்சியை ஆற்றல் உற்பத் திக்குப் பயன்படுத்த முடியுமானால் அது யுரேனியம் பிளவைவிடப் பயன்மிக்கதாக இருக்கும் என்பதை நாம் அறிகிறோம். மேலும், மற்ற எரிபொருட்களைப் போலன்றி டியூட்ரியமானது ஏரிகளிலும் கடல்களிலும் உள்ள நீரில் எளிதில் பெறும்வகையில் எல்லையற்ற அளவில் காணப் பெறுகின்றது. தற்போது உலகுக்குக் கிடைத்து வரும் வாயுவும் எண்ணெயும் இன்னும் ஒரு சில பத்தாண்டுகளில் குறைந்துவிடும். நிலக்கரியும், யுரேனியமும் கூட இன்னும் ஒரு சில நூற்றாண்டுகளுக்கு மட்டுமே போதுமானதாக உள்ளது. 'கடல் நீரிலிருந்து' குறைவற்ற ஆற்றலைப் பெறுவதற்குள்ள ஒரே ஒரு பெரும்தடை கூலம் விதியாகும். அறை வெப்பநிலையில் இரு டியூட்ரான்களுக்கு மிடையேயுள்ள நிலை மின்னியல் ஒதுக்கு விசை யானது அவற்றை அவற்றின் குற்றெல்லை, அணுக்கரு ஈர்ப்பு விசை எல்லைக்குள் நெருங்க விடுவதில்லை.

மாதிரிக் கணக்கு 1

அணுக்கரு விசையானது நிலைமின்னியல் ஒதுக்கு விசையை விஞ்சி மேம்பட இரு டியூட்ரான்கள் 10^{-12} செ.மீ. அளவுக்கு நெருங்கவேண்டும் எனக் கருதுக. நிலைமின்னியல் நிலையாற்றல் அரணின் உயரம் எத்தனை மில்லியன் எலெக்ட்ரான் ஓல்ட்டுகள்?

$$U = \frac{e^2}{r} = \frac{(4.8 \times 10^{-10})^2}{10^{-12}} = 2.3 \times 10^{-7} \text{ எர்குகள்}$$
$$= 0.14 \text{ Mev}$$

மாதிரிக் கணக்கு 2

ஒரு டியூட்ரானின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் 0.14 Mev ஆக இருப்பதோடு டியூட்ரியத்தை எந்த வெப்பநிலைக்குச் சூடேற்ற வேண்டும்?

$$\overline{KE} = \tfrac{3}{2}kT = \tfrac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-16}\ T = 2.3 \times 10^{-7} \text{ எர்குகள்}$$
$$T = 1.1 \times 10^{9°} C$$

இக் கணக்கிலிருந்து டியூட்ரியத்தை ஒரு பில்லியன் டிகிரி வெப்ப நிலைக்குச் சூடேற்ற முடியுமானால் அணுக்கரு இணைவு நிகழும் என்பதைக் காண்கிறோம். அரண் ஊடுருவல் ஏற்படுமாதலால் வெப்பநிலை இவ்வளவு அதிகமாக இருக்கத் தேவையில்லை. மில்லி யன்கள் டிகிரி அளவிலான வெப்பநிலைத் தேவைப்படும் அணுக் கரு வினைகள் வெப்பவியல் அணுக்கரு வினைகள் (Thermo nuclear reactions) என அழைக்கப்பெறுகின்றன. அணுகுண்டு வெடிப்பி லிருந்து கணநேரத்தில் கிடைக்கப்பெறும் வெப்பநிலைகள் டியூட்

ரியம், டிரிஷியம், Li^6 ஆகியவை அடங்கிய கலவை ஒன்றை எரியூட்டப் போதுமான அளவிற்கு அதிகமாக உள்ளன. வெப்பவியல் அணுக்கரு வினைகள் தொடங்கிய பின்னர் அவை வெளிவிடும் மிகையான ஆற்றலானது 'எரிபொருளின்' பெரும்பகுதி விரைவாக 'எரிக்கப்படும்' வரை தேவையான உயர்ந்த வெப்பநிலையை நீடிக்கச் செய்கிறது. இத்தகைய ஒரு அமைப்பு ஹைடிரஜன் குண்டு எனப்பெறுகிறது. ஹைடிரஜன் குண்டுக்குத் தேவையான வெப்பவியல் அணுக்கரு எரிபொருள் மிகவும் மலிவானதாகும். மேலும், ஒரு குண்டில் எவ்வளவு எரிபொருள் பயன்படுத்தலாம் என்பதற்கு எல்லையே இல்லை. 20 மெகா டன்கள் ஆற்றலை அளிக்கக்கூடிய (2×10^7 டன்கள் TNT-க்குச் சமமான ஆற்றல்) ஹைடிரஜன் குண்டுகள் ஒவ்வொன்றும் ஏறத்தாழ ஒரு மிலியன் டாலர்கள் செலவில் அமைக்கப்பட்டுள்ளன என்பது உண்மையாயிருக்கலாம்.

கட்டுப்படுத்தப்பட்ட இணைவு

அணுக்கரு இணைவிலிருந்து பயனுறுதிறனைப் பெறவேண்டுமாயின் வெப்பவியல் அணுக்கரு வினைகளை அடக்கி ஆளும் திறமையை நாம் பெறவேண்டும். பல மில்லியன் டிகிரிகள் அளவிலான வெப்பநிலையைத் தொடர்ந்து நீடிக்கவும் ஏதோ ஒரு வழியை நாமறியவேண்டும். மிக உயர்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள வாயு அல்லது பிளாஸ்மாவை (Plasma) உள்ளடக்கக்கூடிய கொள்கலம் உருகாமல் பாதுகாப்பது தொழில் நுணுக்கப் பிரசினைகளுள் ஒன்றாகும். இப் பிரசினைக்குத் தீர்வுகாண இதுவரை எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட பெருமுயற்சிகள் யாவும் பயனற்றுப் போயின. பிளாஸ்மா அயனிகள் கொள்கலத்தின் சுவர்களை நெருங்காவண்ணம் செய்யும் முயற்சியில் ஆற்றல் மிக்க காந்தப் புலங்கள் பயன்படுத்தப்பட்டு ஆராயப்படுகின்றன. இந்நிலையில் இம் முயற்சியானது பொருளாதார வகையில் வெற்றிபெறுமா என்பதை முன்னுரைப்பது கடினமாகிறது. வெப்பவியல் அணுக்கருத் திறனைப் பெறுவதற்கான மற்றொரு வழி ஹைடிரஜன் குண்டுகளிலிருந்து ஆற்றலைப் பெறுவதற்கான நடைமுறை வழி ஒன்றைக் காண்பதாகும்.

விண்மீனாற்றல் (Stellar energy)

நமது சூரியன் ஒரு சராசரி விண்மீனை விடச் சிறியதாகும். எனினும் அது பில்லியன்கள் கணக்கான ஆண்டுகளுக்கு இடையறாமல் 4×10^{23} கிலோவாட்டுகள் ஆற்றலை வீசிக்கொண்டிருக்கிறது. இணைவு நிகழ்ச்சிகளில் உள்ளதுபோல் நிறையை ஆற்றலாக மாற்றுவதன்மூலமே அத்தகைய அளவிலா ஆற்றலை அளிக்க முடியும். சூரிய ஆற்றலுக்கான முக்கிய மூலாதாரம்



$$H^1 + H^1 \rightarrow H^2 + e^+ + \nu$$

என்னும் தொடர்ச்சியான இணைவு நிகழ்ச்சிகளே என நம்பப்படு கிறது. H^1 என்ற குறியீடு ஹைடிரஜனையும் ν என்பது நியூட்ரினோ எனப்படும் சுழி ஒய்வு நிறையையுடைய நடுநிலைத் துகளையும் குறிக்கின்றன. நியூட்ரீனோ பங்குபெறும் மேற்கூறப்பட்ட வினை மென் செயலெதிர்ச்செயல் (Weak interaction) என அழைக்கப் பெறுகிறது. அதனைப்பற்றி அடுத்த இயலில் ஆராயப்படும். மேற்கூறப்பட்ட வினையைத் தொடர்ந்து



$$H^2 + H^1 \rightarrow He^3 + \gamma$$



$$He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + H^1 + H^1$$

என்னும் வினைகள் நிகழ்கின்றன. மேற்கூறப்பட்ட தொடர் நிகழ்ச்சியில் மூன்று ஹைடிரஜன் அணுக்கள் He^3-ஐ உருவாக்கு கின்றன. அடுத்து, இறுதியாக அத்தகைய இரு He^3 அணுக்கள் இணைந்து ஒரு He^4 அணுவையும் இரு ஹைடிரஜன் அணுக்களையும் உருவாக்குகின்றன. அதன் பயனாய் நான்கு ஹைடிரஜன் அணுக்கள் இணைந்து ஒரு He^4 அணுக்கருவை உருவாக்குவதுடன் மொத்தம் 28.5 Mev ஆற்றலையும் வெளிவிடுகின்றன.

15-9 காஸ்மிக் கதிர்கள்

ஏழைக்கு எளிதாகும் உயர் ஆற்றல் முடுக்கி

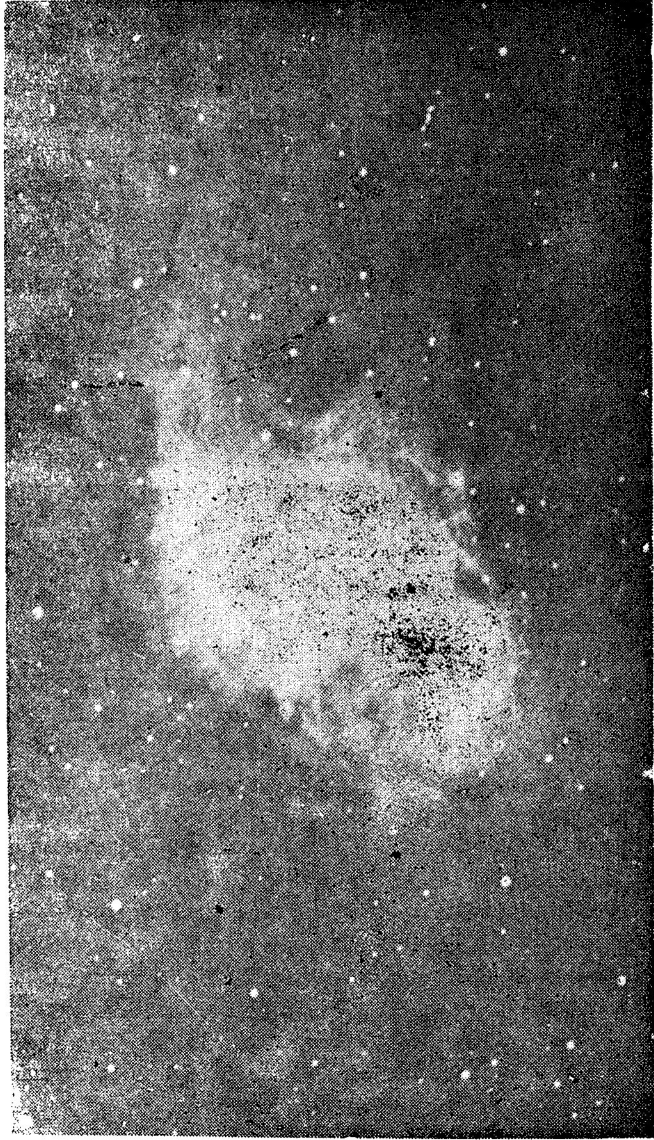
ஒவ்வொரு விநாடியும் ஒரு சதுரமீட்டருக்கு ஏறத்தாழ 30 எர்குகள் அளவிலான விண்மீனொளி ஆற்றல் புவியைத் தாக்கு கிறது. எனினும் ஒவ்வொரு விநாடியும் ஒரு சதுரமீட்டருக்கு மேலும் ஒரு 40 எர்குகள் அளவுள்ள, விண்வெளியிலிருந்து வரும் கண்ணுக்குத் தெரியாத ஆற்றலும் புவியைத் தாக்குகிறது. ஓரளவு அதிகமான இத்தகைய ஆற்றல் பாய்மம் உயர் ஆற்றல் துகள்கள் வடிவில் குறிப்பாக புரோட்டான்கள் மற்றும் ஆல்ஃபாத் துகள்கள் வடிவில் உள்ளது. இந்த முதல்நிலைத் துகள்களும் புவியின் வளி மண்டலத்தில் அவை விளைவிக்கும் வழிநிலைத் துகள்களும் காஸ்மிக் கதிர்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. புவியின் வளிமண்டலத்தின் உச்சிப் பகுதியில் ஒரு சதுரமீட்டர் பரப்பளவைத் தாக்கும் பிரதமத் துகள்களின் எண்ணிக்கை விநாடிக்கு 1500 ஆகும். இவை 5 Bev-க்கும் மேற்பட்ட ஆற்றலைக் கொண்டுள்ளன. இத்தகைய முதல்நிலைத் துகள்களுள் சில 10^9 Bev அளவுக்கு உயர்ந்த ஆற்றலைப் பெற்றிருப்பினும் உண்மையில் அவற்றுள் பெரும்பான்மையானவை 10 Bev-க்கும் குறைவான ஆற்றலையே பெற்றுள்ளன. இன்னமும் உயர் ஆற்றல் செயலெதிர்ச்

செயலைப் (high energy interactions) பற்றிய ஆராய்ச்சிக்கான ஒரு பயனுறு கருவியாகக் காஸ்மிக் கதிர்கள் பயன்படுகின்றன. எனினும் குறைந்த செறிவும் கட்டுப்பாடற்றதுமான காஸ்மிக் கதிர்த் துகள்களைப் பயன்படுத்திச் செய்யப்படும் சோதனைகளை விடத் தற்போதுள்ள நவீன உயர் ஆற்றல் முடுக்குகள் கட்டுப் பாடோடு கூடிய துல்லிய மதிப்பீடுகளைப் பெற உதவுகின்றன. ஆயினும் அண்மையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அடிப்படைத் துகள் களுள் பல காஸ்மிக் கதிர்களின் உதவியாலேயே கண்டுபிடிக்கப் பட்டன. (இயல் 16). இப்போது அவைகள் உயர் ஆற்றல் முடுக்கிகளால் விளைவிக்கப்படுகின்றன. அதன் பயனாய் அவற்றை அவற்றை மிகவும் விரிவாக ஆராயவும் ஏதுவாகிறது.

விளக்கம் காணப்பட வேண்டிய இரு பிரச்சினைகள் நம்முன் உள்ளன: (1) காஸ்மிக் கதிர்கள் எங்கிருந்து வருகின்றன? (2) இத் துகள்கள் அத்தகைய உயர் ஆற்றல்களுக்கு எங்ஙனம் முடுக்கப்படுகின்றன? காஸ்மிக் கதிர்த் துகள்கள் முடுக்கப்படு வதற்கான முக்கிய செயல்முறை என இப்பொழுது நம்பப்படும் ஒன்றை 1949-ல் ஃபெர்மி எடுத்துரைத்தார். இயங்கும் விண் வெளியிடை வாயு மேகங்கள் (Inter stellar gas clouds) உள்ளன என காட்சிப் பதிவுகள் அறிவிக்கின்றன. இவற்றுடன் காந்தப் புலங்கள் இணைந்துள்ளன (இயங்கும் மின்னூட்டங்கள் அவற் றுடன் இணைந்த ஒரு காந்தப்புலத்தை விளைவிக்கின்றன). விரைந்து செல்லும் காஸ்மிக் கதிர்களின் இத்தகைய காந்தப்புலப் பகுதிகளுடனான மோதல்கள் பொதுவாகக் காஸ்மிக் கதிர்த் துகள்களை முடுக்க முயலும். அங்கொன்றும் இங்கொன்றுமாக இயங்கும் மின்னூட்டத் துகள்கள் ஊர்ந்து செல்லும் வாயு மேகங் களுடன் இணைந்த காந்தப்புலங்களுள் நுழைந்து அவற்றால் பிரதி பலிக்கப்படுகின்றன. வாயுமேகம் தொடக்கத்தில் துகளைநோக்கி ஊர்ந்து செல்லுமாயின் துகள் அதிகரிக்கப்பட்ட ஆற்றலுடனும் அது துகளைவிட்டுச் விலகிச் செல்லுமாயின் துகள் குறைக்கப்பட்ட ஆற்றலுடனும் பிரதிபலிக்கப்படும். ஓரலகு கால அளவில், மேக மானது துகளைவிட்டு விலகிச் செல்லும்போது உள்ளதைவிட அது துகளைநோக்கிச் செல்லும்போது அதிகமான மோதல்களால் நிகழுமாதலால் துகளானது சராசரியில் நிகர ஆற்றல் அதிகரிப் பைப் பெறும். இச் செயல்முறைப் பக்கம் 160-ல் ஆராயப்பட்ட ஆற்றல் சமப்பங்கீட்டிற்குக் காரணமான அதே செயல் முறையாகும்.

காஸ்மிக் கதிர்களின் தோற்றுவாயைப்பற்றி மிக அண்மையில் சில குறிப்புகள் கிடைக்கப்பெற்றுள்ளன. பின்னர் அத் துகள்கள் வெளியிடத்தில் அங்கொன்றும் இங்கொன்றுமாகத் திரியும்

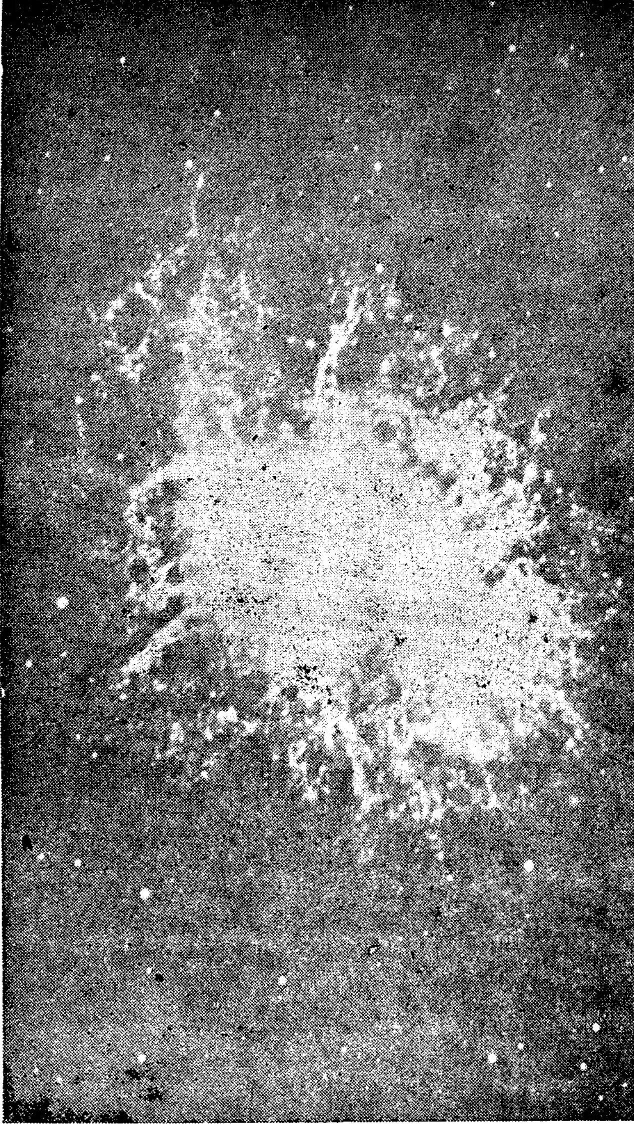
(a)



படம் 15-10

இருவகை ஒளியில் எடுக்கப்பட்ட கடக விண்மீன் திரளின் இரு தோற்றங்கள். தோற்றம் (a) காந்தப்புலங்களில் முடுக்கப்படும் உயர் ஆற்றல் துகள்களின் கதிர்வீச்சினால் வெளிவிடப்படும் ஒளியின் தொடர் அலைமாலை.

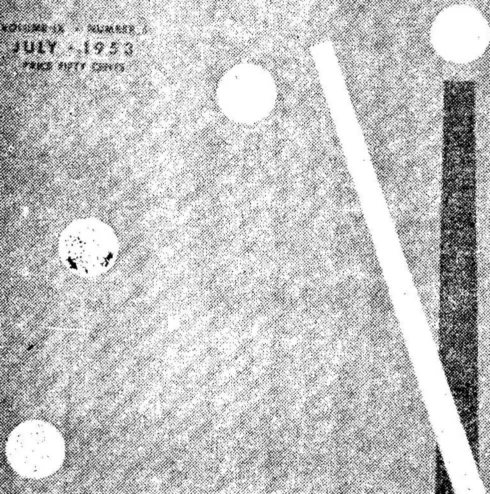
(*b*)

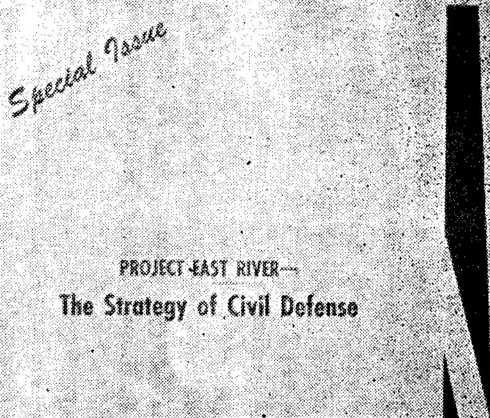


தோற்றம் (*b*) ஹைடிரஜனின் வெளிவிடு அலைமாலையினை யொத்த ஒளியில் எடுக்கப்பட்டது. இத் தோற்றமானது காஸ்மிக் கதிர்த் துகள்களைவிட வாயு மேகங்களின் இருப்பிடங்களைத் தெளிவாகக் காட்டுகிறது.

பொழுது ஃபெர்மி செயல்முறையினுல் மேலும் முடுக்கப்படு கின்றன. கடக விண்மீன் திரள் (Crab nebula) (படம் 15-10) செறிவு மிக்க காஸ்மிக் கதிர்த் துகள்களைப் பெற்றுள்ளது என்றும் அவை வெளியிடத்தினுள் தப்பிச் செல்கின்றன என்றும் நவீன ரேடியோ தொலைநோக்கிகளின் மூலம் அறியப்பட்டுள்ளது. அத் தகைய துகள்கள் காஸ்மிக் கதிர்ச் செறிவில் மூன்றிலொரு பகுதிக் குக் காரணமாயிருக்கும் அளவிற்கு அவற்றின் எண்ணிக்கை அதிகமாயிருக்கிறது என மதிப்பிடப்பட்டுள்ளது. உண்மையில் இந்தக் குறிப்பிட்ட காஸ்மிக் கதிர்த் துகள்கள் இன்னும் நம்மை வந்தடையவில்லை. காந்தப்புலப் பகுதிகளுடன் அவை மீண்டும் மீண்டும் ஃபெர்மி வகை மோதல்களுக்கு உள்ளாவதாம் 3500 ஒளி ஆண்டுகள் தொலைவிலுள்ள புவியை வந்தடைய அவற்றிற்குப் போதுமான கால அளவு கிடைப்பதில்லை. இத் துகள்களுள் பெரும்பான்மை ஒரு சில ஆண்டுகளுக்காகவே வெளிவிடப்பட் டுள்ளன என நாமறிகிறோம். ஏனெனில் கடக விண்மீன் திரளானது கி. பி. 1054, ஜுலை 4-ல் தோன்றிய மீப்பெரு ஒளிர் மீன் வெடிப்பு (Giant supernova) ஒன்றில் எஞ்சியிருக்கும் கண்ணுக் குத் தெரியக்கூடிய பகுதியேயாகும். ஏற்பட்ட வெடிப்பானது முதன் முதலில் பகலில் காணப்படும் அளவிற்குக் கண்கவர் ஆற்ற லுள்ளதாக இருந்தது. இந்த மிகப்பெரும் அணுக்கரு வெடிப்பு சீனர்களாலும் ஜப்பானியர்களாலும் மிக நன்ருகப் பதிவிடப் பட்டுள்ளது. உண்மையில் (Arizona)ப் பள்ளத்தாக்கு ஒன்றில் நவாஹோ இந்தியர் (Navaho Indian)களால் செய்யப்பட்ட தோராயப் பதிவீடுகளும் உள்ளன. அந்நிகழ்ச்சியைப் பல ஐரோப்பியர்களும் கவனித்திருக்கக்கூடும் என்பது உறுதியாயினும் எந்த ஐரோப்பியப் பதிவேட்டிலும் அதைப்பற்றிக் குறிப்பிடாதது விந்தையேயாகும்.

விண்மீன் ஒன்றின் ஹைடிரஜன் யாவும் பயன்படுத்தப்பட்ட பின் அதன் அடர்த்தி மாறுகிறது. அந்நிலையில் அதன் வெப்ப வியல் அணுக்கரு நிகழ்வுகள் ஹைடிரஜன் குண்டில் உள்ளதைப் போல் நிலையற்றுப் போகும். ஒளிர்மீன் வெடிப்பு என்பது ஒரு விண்மீன் முழுவதும் நிகழும் கட்டுப்பாடற்ற, மீப்பெரு வெப்ப வியல் அணுக்கரு வெடிப்பாகும். அத்தகைய மீப்பெரு வெடிப்பு கள் சில நூற்றுண்டுகளுக்கு ஒருமுறை நமது நட்சத்திர மண்டலத் தில் நிகழ்வதாகத் தோன்றுகிறது. தற்போதுள்ள காஸ்மிக் கதிர் களுள் பெரும்பகுதி பண்டைய ஒளிர்மீன் வெடிப்புகளால் வெளி விடப்பட்டவை என்னும் கருத்து பொருத்தமானதாகத் தோன்றுகிறது.





படம் 15-11

அணு விஞ்ஞானிகளின செய்தி வெளியீட்டின் அடுத்தடுத்த இரு இதழ்களின் முன் அட்டை. ஆகஸ்ட் 8, 1953 நாளில் சோவியத் நாடு நடத்திய முதல் ஹைடிரஜன் குண்டு வெடிப்பானது நிகழ்ச்சிகள் எவ்வளவு விரைவாக நடக்கின்றன என்பதை ஒரு உருவகக் கடிகாரத்தால் காண்பித்து நமக் குள்ள நேரம் மிகக் குறுகியது என்று எச்சரிக்கை செய்கிறது.

15-10 விஞ்ஞானிகளின் சமுதாயப் பொறுப்பு

இரண்டாம் கடமை

நாம் விரும்புகிறோமோ இல்லையோ, அடிப்படைப் பௌதிக ஆராய்ச்சியானது இயற்பியல் உலகைப்பற்றி நமக்கு அறிவூட்டுவதைவிட மனித சமுதாயத்தை அதிகமாகப் பாதிக்கிறது. காட்டாக, மனித சமுதாயம் தப்பிப் பிழைக்குமா என்று நம்முள் பலர் அஞ்சுமளவிற்கு அணுக்கருப் பிளவும் இணைவும் நமது இன்றைய வாழ்வோடு மிக நெருக்கமாகப் பிணைந்துள்ளன. மனித சமுதாயம் நூலிழையில் அபாயமான நிலையில் ஊசலாடிக் கொண்டிருக்கிறது என்பதை நாமறிவோம். இந்த நிலையினை போரொழிந்த சில நல்லாண்டுகளை நமக்கு அளித்த அதே அணுக் குண்டு இருண்டதொரு நீண்ட எதிர்காலத்தையும் காட்டி நிற்கிறது என்று E. B. ஒயிட் (E. B. White) என்பவர் கூறுகிறார்.

1945-ல் அணுக்குண்டு உருவாக்கப்பட்டதிலிருந்து அணுக் கருப் போருக்கு வழிவகுக்கும் கொள்கைகளிலுள்ள அளவற்ற தீங்குகளை பொதுமக்களுக்கும் அரசியல்வாதிகளுக்கும் உணர்த்தும் அளவிற்காவது உலக விஞ்ஞானிகளுள் குறிப்பிடத்தக்க எண்ணிக்கையுடைய ஒரு சிலர் சமுதாயப் பொறுப்பை ஓரளவு உணர்ந்தனர். அத்தகைய விஞ்ஞானிகள் குழு ஒன்றின் செயல்களுள் அணு விஞ்ஞானிகள் செய்தி வெளியீடு (Bulletin of the Atomic Scientists) என்னும் விஞ்ஞானம் மற்றும் பொது விவகாரங்களுக்கான மாத இதழ் ஒன்றை வெளியிடுவதாகும் (படம் 15-11). விஞ்ஞானிகளின் இந்தப் பொறுப்புணர்ச்சியானது விஞ்ஞானிகளிடையே காணப்படும் வழக்கத்திற்கு மாறான அரசியல் நடவடிக்கைகளை விளக்க உதவுகிறது. அணுக்கருச் சாதனங்களின் சோதனைகளை நிறுத்துவதற்கான போராட்டத்தை விஞ்ஞானிகளைவிட சமூகவியல் விஞ்ஞானி (Social Scientist)களோ அல்லது மதத் தலைவர்களோ தொடங்கியிருக்கக்கூடும் என நாம் எதிர்பார்த்திருக்கலாம்.

விஞ்ஞானிகள் இவ்வாறு அரசியலில் தலையிடுதலைச் சிலர் வன்மையாகக் கண்டிக்கின்றனர். விஞ்ஞானத் திறமையின் பயனாய் பொதுமக்களின் பெருமதிப்பைப் பெற்ற ஒரு விஞ்ஞானி அவருக்குப் புறம்பான காரியங்களைப் பற்றிய கண்மூடித்தனமான மிக எளிய கருத்துக்களை வெளியிடுவதன் பயனாய் பொதுமக்களைக் குழப்பவும் தவறான பாதையில் இட்டுச் செல்லவும் கூடும் என்ற பொருத்தமான ஒரு எதிர்ப்பு உள்ளது. கருத்தூன்றிய சிந்தனை காரணமாக செல்வாக்கும் புகழும் பெற்ற ஒரு விஞ்ஞானி அரசியலுடன் தொடர்பு கொண்ட கருத்துக்களைப்பற்றிப் பொது

மேடைகளில் பேசும்பொழுது மிக்க கவனம் செலுத்தவேண்டும். கருத்தார்ந்த சிந்தனை, பொருத்தமான துறையைப்பற்றிய ஆராய்ச்சி ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் அமைந்த அவரது விஞ்ஞானக் கருத்துக்களைப் போலவே அவரது அரசியல் கருத்துக்களும் கருத்தார்ந்த சிந்தனை மற்றும் ஆராய்ச்சியின் அடிப்படையில் அமைய வேண்டும். இத்தகைய நிபந்தனைக்குட்படுவாராயின் விஞ்ஞானத்திற்கும் அரசியலுக்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பைப் பற்றிய ஆராய்ச்சியில் இறங்கும் விஞ்ஞானி மதிப்பிடற்கரிய பொதுத் தொண்டைச் செய்கிறார்.

அத்தகைய விஞ்ஞானி, விஞ்ஞானி என்ற முறையில் அவரது கடமைகளுள் ஒன்றைச் செய்வதாகவும் உணருகிறார். விஞ்ஞானியின் இந்த 'இரண்டாவது கடமை'யைப்பற்றி ஜான் ஃபௌலர் (John M. Fowler) என்பவர் *Fall out* என்ற அவரது நூலில் குறிப்பிட்டுள்ளார்.

அணுக்கருச் சாதனங்கள் பற்றிய பெரும் பிரச்சினைகள் நாட்டில் தெளிவு செய்யப் பெறாமலும் ஆக்கம் பெறாமலும் உள்ளன. இக் கருத்தைப் படிப்படியாகப் பெறுவதற்கான மூலாதாரங்களைப் பொதுமக்களுக்கு எடுத்துரைப்பது விஞ்ஞானிகளின் உரிமையும் கடமையுமாகும். ஏனெனில் சிக்கல் நிறைந்த அறிவும் மலர்ச்சியுறும் தொழில் நுணுக்கமும் நிறைந்த நமது உலகில் விஞ்ஞானிகள் ஒன்றல்ல, இரு முக்கிய கடமைகளைக் கொண்டுள்ளனர்; முதலாவது, உண்மையை நாடிச் செல்லும் அவர்களின் மரபுக்கேற்ற கடமை; இரண்டாவது, அவர்களது ஆராய்ச்சியில் அவர்கள் பெற்ற அறிவைத் தேவைப்படுவோர்க்கெல்லாம் அறியப்படுத்தும் கடமையாகும்.

சில விஞ்ஞானிகள் ஏனையோரைக் காட்டிலும் இந்த இரண்டாவது கடமையை அதிகமாக உணருகிறார்கள் எனினும் அரசியல் தீர்வுகள், தொழில் நுணுக்க அறிவு மற்றும் விஞ்ஞானத் தீர்வுகளை அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கும் வரை அத்தகைய அரசியல் தீர்வுகளை உருவாக்குவதற்குத் துணைபுரிவதைத் தங்கள் கடமையெனக் கருதும் விஞ்ஞானிகள் இருப்பர். விஞ்ஞான அனுபவம் இல்லாத ஒரு அரசியல்வாதி அத்தகைய மிக முக்கிய முடிவுகளை மட்டும் மேற்கொள்வது சமுதாயத்திற்கு ஆபத்தானது என்பது உறுதியாகும்.

கணக்குகள்

1. ஒரு அணுக்கருவின் நிறையானது அதனை உருவாக்கும் துகள்களின் மொத்த நிறையைவிடக் குறைவானதா, அதிகமானதா?

2. ரேடியத்தின் அரை ஆயுள் 1600 ஆண்டுகள் எனில் ரேடியத்தின் மாதிரிக் கூறு ஒன்றில் 3200 ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் எவ்வளவு ரேடியம் சிதைவுற்றிருக்கும்?

3. மூன்று அரை ஆயுட்கள், இரண்டு சராசரி ஆயுட்கள் ஆகியவற்றுள் எது அதிகமானது?

4. கதிரியக்க மாதிரிக் கூறு ஒன்றில் ஒரு சராசரி ஆயுட் காலத்தின்போது எத்தனை சதவீதம் சிதைவுறும்? இரண்டு சராசரி ஆயுட்காலங்களில் எத்தனை சதவீதம் சிதைவுறும்?

5. T அரை ஆயுளைக் கொண்ட ஆயிரம் அணுக்கருக்களடங்கிய கதிரியக்க மாதிரிக் கூறு ஒன்றைக் கருதுக. $T/2$ கால அளவிற்குப்பின் ஏறத்தாழ எத்தனை அணுக்கருக்கள் எஞ்சியிருக்கும்? (குறிப்பு; அரை ஆயுளின் இரண்டாவது பாதியில் சிதைவுறும் அதே பகுதியில் முதற் பகுதியில் சிதைவுறும்).

6. சூரியன் 864,000 மைல்கள் விட்டத்தையும் 1.41 சராசரி அடர்த்தியையும் கொண்டுள்ளது. சூரியன் அதே நிறையையும் அணுக்கருப் பொருளின் அடர்த்தியையும் கொண்டிருக்குமாயின் அதன் விட்டம் எவ்வளவு இருக்கும்?

7. வெப்பவியல் அணுக்கருக் குண்டு ஒன்றில் 18 கி.கி. வெடிபொருள் ஒரு மில்லியன் டன்கள் TNT-க்குச் சமமான ஆற்றலை வெளிவிடக்கூடும். ஒரு டன் TNT 10^9 கேலரிகள் ஆற்றலை வெளிவிடுகிறது. எத்தனை கிராம் வெப்பவியல் அணுக்கரு வெடிபொருள் ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது?

8. படம் 15-9-ன்படி $Z = 50$ (வெள்ளீயம்)-ஐக் கொண்ட ஒரு அணுக்கரு குறிப்பிடத்தக்க வகையில் நிலைபெற்றிருக்கும். அப் படத்திலிருந்து குறிப்பிடத்தக்க வகையில் நிலைபெற்றிருக்கும் மற்றொரு தனிமத்தைக் காண்க.

9. கதிரியக்க மாதிரிக்கூறு ஒன்று 10^{12} கதிரியக்க அணுக்கருக்களைக் கொண்டுள்ளது. அரை ஆயுள் ஒரு மணி என்றால் ஒரு விநாடியில் அவற்றுள் எத்தனை அணுக்கருக்கள் சிதைவுறும்? (குறிப்பு: ஒரு அணுக்கரு ஒரு விநாடியில் சிதைவுறுவதற்கான நிகழ்திறனுக்கும் அதன் சராசரி ஆயுளுக்கும் உள்ள தொடர்பு என்ன? சராசரி ஆயுளுக்கும் அரை ஆயுளுக்கும் உள்ள தொடர்பு என்ன?)

10. ஒரு ரேட் கதிரியக்கம் ஒரு கன சென்டிமீட்டர் காற்றிலிருந்து 1.2 ஸ்டேட் கூலம்கள் நேர்மின் அயனிகளையும் 1.2 ஸ்டேட் கூலம்கள் எதிர்மின் அயனிகளையும் வெளிப்படுத்தும். காற்றின் அடர்த்தி 1.3×10^{-3} கி./செ.மீ.^{3} எனில் ஒவ்வொரு அயனிச் சோடிக்கும் எத்தனை எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் தேவைப்படுகின்றன?



துகள் பௌதிகம்
(Particle Physics)

இயல் 16

துகள் பௌதிகம்

16-1 அறிமுகம்

வெங்காயம் உரித்தல்

பௌதிகத்தின் முக்கிய நோக்கமாவது பௌதிக நிகழ்ச்சிகள் யாவற்றையும் குறைந்த எண்ணிக்கையுடைய எளிய அடிப்படைத் தத்துவங்களின் மூலமாக விளக்குவதாகவும், பருப்பொருள்கள் யாவும் வேறுபட்ட பண்புகளையுடைய ஒரு சில துகள்களாலேயே ஆக்கப்பட்டிருப்பதால் எண்ணற்ற பௌதிக நிகழ்ச்சிகளையும் பருப்பொருள் பண்புகளையும் ஒரு சில அடிப்படைத் துகள்களின் சில எளிய பண்புகளின் மூலமாகத் தத்துவ முறையில் விளக்க முடியும்.

அடிப்படைத் துகள்களுக்கான மனிதனின் தேட்டையில் அவன் முதன் முதலாகக் கூட்டுப் பொருள்கள் 'அடிப்படை' மூலக் கூறுகளால் ஆக்கப்பட்டிருந்தன எனக் கண்டான். பின்னர் மூலக் கூறுகள் அடிப்படை அணுக்களால் ஆனவை என அறியப்பட்டது. பல ஆண்டுகட்குப் பின்னர் இந்த 'அடிப்படை' அணுக்கள் அடிப் படை அணுக்கருக்களாலும் அவற்றை வலம் வரும் எலெக்ட்ரான் களாலும் ஆனவை எனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. உண்மையில் எது அடிப்படையானது என்பதை அறிவதற்கான இத்தகைய அடுத்தடுத்த முயற்சிகள் ஒரு வெங்காயத்தை உரித்துக்கொண்டே இருப்பதை ஒக்கும். சாதாரண பருப்பொருளைத் தோலுரிக்கும் இம் முயற்சியில் இப்போதைய நமது நிலை என்னவெனில் எல்லா அணுக்கருக்களும் புரோட்டான்களாலும் நியூட்ரான்களாலும் ஆக்கப்பட்டுள்ளன என்று கண்டுபிடித்திருப்பதேயாகும்.

நாம் இறுதியாக வெங்காயத்தின் உட்கருவை அடைந்து விட்டோமா? புரோட்டானும் நியூட்ரானும் மேலும் சிறிய துகள் களால் ஆக்கப்பட்டுள்ளனவா? இப்போது நாம் பெற்றுள்ள அறிவின்படி புரோட்டான், நியூட்ரான், எலெக்ட்ரான் மற்றும் ஃபோட்டான் ஆகிய யாவும் அடிப்படைத் துகள்களாகக் கருதப்

படுகின்றன. சாதாரண பருப்பொருளைக் கட்டமைக்கும் சிறு துகள்கள் வரை சென்று அதன் அமைப்பையும் பண்புகளையும் அடிப்படைத் தத்துவங்களின் துணையுடன் விளக்கிய நமக்கு இப் பகுதி இந்நூலினை முடிப்பதற்குரிய ஏற்ற பகுதியாகத் தோன்றுகிறது. எனினும், பௌதிக உண்மைகளைப் பற்றிய அடிப்படைக் கருத்துக்களைப் பற்றிக் கூறுவது இந் நூலின் நோக்கமாதலால் அதனை முடிக்குமுன் எழுப்பப்படவேண்டிய கேள்வி ஒன்று உள்ளது. அதாவது; சாதாரண பருப்பொருளில் தோற்றமளிக்காத, பௌதிக முறையில் உண்மையிலேயே அடிப்படையான துகள்கள் உள்ளனவா? 'நிச்சயமாக ஆம்' என்பதே அதற்குரிய விடையாகும்! 1933ஆம் ஆண்டு தொடங்கி விஞ்ஞானிகள் மேலும் 26 அடிப்படைத் துகள்களைக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். நாமறிந்தவரை இப்போதுள்ள 30 அடிப்படைத் துகள்களுள் எதையும் மேலும் சிறிய துகள்களாகத் தகர்க்க முடியாது. கட்டமைப்பில்லாதவை (பிற அடிப்படைத் துகள்களால் ஆனவை என விளக்க முடியாது) என்ற முறையில் அவை யாவும் அடிப்படைத் துகள்களாகக் கருதப்படுகின்றன. காட்டாக, நியூட்ரானை ஒரு எலெக்ட்ரானும் ஒரு புரோட்டானும் ஒருங்கே கட்டுண்ட ஒரு அமைப்பாகக் கருதமுடியாது என்பதற்கான காரணங்கள் பல உள்ளன. நியூட்ரானின் நிறையானது ஒரு புரோட்டான், ஒரு எலெக்ட்ரான் ஆகியவற்றின் மொத்த நிறையைவிட 1.5 எலெக்ட்ரான் நிறைகள் அதிகமாக உள்ளது என்பது அவற்றுள் ஒன்றாகும். ஒரு எலெக்ட்ரானும் ஒரு புரோட்டானும் ஒருங்கிணைந்த ஒரு அமைப்பு (ஹைடிரஜன் அணுவிலுள்ளதுபோல்) அவற்றின் மொத்த நிறையைவிடக் குறைவான நிறையைப் பெற்றிருக்கவேண்டும். நியூட்ரான், புரோட்டான், எலெக்ட்ரான் ஆகியவற்றின் சுழற்சிகள் $\frac{1}{2}$ என்பது மற்றொரு காரணமாகும். குவாண்டம் விசையியலின்படி சுழற்சி $\frac{1}{2}$ கொண்டுள்ள இரு துகள்களிலிருந்து $\frac{1}{2}$ அலகுத் தொகுபயன் கோண உந்தத்தைப் பெறுவதற்கான வழியேதும் கிடையாது. எந்தவொரு 'அடிப்படை'த் துகளும் அதன் கட்டமைப்பில் ஒரு எலெக்ட்ரானைக் கொண்டிருக்க முடியாது என்பதற்கான மற்றொரு காரணத்தை ஐயத் தத்துவம் கூறுகிறது. இத் தத்துவத்தின்படி எலெக்ட்ரான் உந்தமானது குறைந்தது பிளாங்க் மாறிலியை ''அடிப்படை''த் துகளின் விட்டத்தால் வகுப்பதால் கிடைக்கும் மதிப்பளவாகவேனும் இருக்கவேண்டும். அடிப்படைத் துகள்கள் 10^{-13} செ.மீ. விட்டங்களைக் கொண்டிருப்பதால் ஒரு அடிப்படைத் துகளில் 'பிணைக்கப்பட்டுள்ள' எலெக்ட்ரான்,

$$P = \frac{h}{10^{-13}} = 6 \times 10^{-14} \text{ கி.செ.மீ./வி.}$$

என்ற உந்தத்தைப் பெற்றிருக்கவேண்டும். இத்தகைய உந்தத்தையுடைய ஒரு எலெக்ட்ரான் ஏறத்தாழ 100 Mev இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றிருப்பதோடு உடனே வெளியேறிவிடும்.

இதுவரை இந்நூலில் கூறப்படாத 26 புதிய அடிப்படைத் துகள்களுள் பல நிலையற்றவையாகும்—அவை சிதைவுறுகின்றன அல்லது மேலும் குறைந்த நிறையுடைய பிற அடிப்படைத் துகள்களாக மாறுகின்றன. இந்த அடிப்படைத் துகள்களைப் பற்றி ஆராயுமுன் பீட்டாச் சிதைவைப் பற்றியும் மென் செயலெதிர்ச் செயல் என்பது பற்றியும் மேலும் விரிவாக அறிவது இன்றியமையாததாகும்.

16-2 பீட்டாச் சிதைவும் மென் செயலெதிர்ச் செயலும்

யாவற்றையும் எலெக்ட்ரான்களாகவும் நியூட்ரான்களாகவும் உருமாற்றுவதற்கான இயற்கையின் முயற்சி

கனத் துகள்களின் அழிவின்மை விதி (Conservation of heavy particles) இல்லாமலிருப்பின் அண்டத்திலுள்ள பருப்பொருள் யாவும் 1/1000 வினடிக் காலத்திற்குள் எலெக்ட்ரான்களாகவும் நியூட்ரினோக்களாகவும் சிதைவுற்றுவிடும். இது மென் செயலெதிர்ச்செயல் எனப்படும் ஒரு நிகழ்ச்சியின் விளைவாகும். மென் செயலெதிர்ச்செயலை எல்லாத் துகள்களையும் அதே வலிமையுடன் தாக்கும் ஒரு பொதுவான நோயாகக் கருதலாம். அது அடிப்படைத் துகள்களை இறுதியாக எலெக்ட்ரான்களாகவும் நியூட்ரினோக்களாகவும் மாற்ற முயலுகிறது. இச் சிதைவு எலெக்ட்ரான்களை பீட்டாக் கதிர்கள் என அழைப்பது மரபு.

பீட்டாச் சிதைவில் நியூட்ரினோக்கள் ஈடுபடுவதால் நியூட்ரினோவைப் பற்றிய விளக்கம் இன்றியமையாததாகிறது. நியூட்ரினோ என்பது மின்னூட்டமோ ஓய்வு நிறையோ இல்லாத ஒரு துகளாகும். மேலும் ஒரு நியூட்ரினோவுக்கும் மற்றெந்த துகளுக்கும் உள்ள செயலெதிர்ச் செயலானது பதிவு செய்யப்பட முடியாத அளவுக்கு மிக மெலிந்ததாக உள்ளது. 10^{12} நியூட்ரினோக்கள் அடங்கிய ஒரு கற்றையானது புவியை நோக்கிச் செலுத்தப்படின் ஒன்றைத் தவிர மற்றவை யாவும் முற்றிலும் பாதிக்கப்படாமல் புவியை ஊடுருவிச் சென்றுவிடும். இதுவரை இத் துகள் வெறும் கற்பனைச் செய்தியாகவே தோன்றுகிறது. எனினும் நியூட்ரினோவாவது கொள்கையியல் பௌதிகர்களால் களவிற்

கற்பனைச் செய்யப்பட்ட கட்டுக்கதையாக அமையவில்லை. சென்ற சில ஆண்டுகளில் கிடைக்கப்பெற்ற சோதனையியல் கொள்கையியல் சான்றுகள் எந்த விஞ்ஞானியும் நியூட்ரினோ என்ற ஒரு துகள் இருக்கிறதா என்ற வினாவை எழுப்ப முடியாத அளவுக்கு உறுதிவாய்ந்தவையாயுள்ளன.

அடிப்படைத் துகள் என்ற முறையில் நியூட்ரினோவானது சில வகைகளில் ஃபோட்டானை ஒத்துள்ளது. ஃபோட்டானின் ஓய்வு நிறை சுழியாதலால் அதன் ஆற்றல் $W = Pc$; P என்பது ஃபோட்டான் உந்தம். சார்புக் கொள்கையின் பயனாய் இதே தொடர்பு நியூட்ரினோக்களுக்கும் பொருந்தவேண்டும்(பக்கம் 366). மேலும் எலெக்ட்ரான்கள், புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்களைப் போல நியூட்ரினோவும் $\frac{1}{2}$ சுழற்சியை (உள்ளார்ந்த கோண உந்தம் $\frac{1}{2}\,h/2\pi$)-க் கொண்டுள்ளது.



படம் 16-1

'பணி'யில் ஈடுபட்டுள்ள R. P. ஃபென்மென் நவீன குவாண்டம் மின் விசையியல் கொள்கை மற்றும் அனைத்தின ஃபெர்மி செயலெதிர்ச் செயல் ஆகியவற்றின் வளர்ச்சிக்கான முக்கியமானவர்களில் பேராசிரியர் ஃபென்மெனும் ஒருவராகும்.

மென் செயலெதிர்ச் செயலைப்பற்றி அறிந்து கொள்வதில் 1958-ல் பெரும் முன்னேற்றம் ஏற்பட்டது. துகள்களை எலெக்ட்ரான்கள் மற்றும் நியூட்ரினோக்களாக மாற்றக்கூடிய தனிச்சிறப்பு

வாய்ந்த செயலெதிரிச் செயல் ஒன்று எடுத்துரைக்கப்பட்டது. தனிச் சிறப்பு வாய்ந்த அனைத்தின ஃபெர்மி செயலெதிர்ச் செயல் (universal Fermi interaction) என அழைக்கப்படுகிறது. காட்டாக, இப் புதிய கொள்கை மியூயான் (muon—பிரிவு 16.4-ல் ஆராயப் படும் ஒரு புதிய துகள்) ஆயுட்காலத்தைத் துல்லியமாக முன்னுரைக்கிறது.

மென் செயலெதிர்ச் செயலுக்கான ஒரு எடுத்துக்காட்டு கட்டுரு நியூட்ரான் ஒன்றின்



$$N \rightarrow P + e^{-} + \bar{\nu}$$

என்ற வகையிலமைந்த பீட்டாச் சிதைவாகும். இச் சிதைவுக்கான அரை ஆயுள் 12 நிமிடங்கள்; சிதைவின்போது 0.8 Mev ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. நியூட்ரான் புரோட்டான் நிறை வேறுபாடு 1.3 Mev ஆகும். எலெக்ட்ரானின் ஓய்வு நிறை 0.5 Mev ஆதலால் எஞ்சிய 0.8 Mev எலெக்ட்ரான், ஆன்டி நியூட்ரினோ ($\bar{\nu}$ என்ற குறியீடு ஆன்டி நியூட்ரினோவைக் குறிக்கப் பயன்படுத்தப்படுகிறது) ஆகியவற்றின் மொத்த இயக்க ஆற்றலாக வெளிப்படுகிறது. நியூட்ரினோவுக்கும் ஆன்டி நியூட்ரினோவுக்கும் உள்ள வேறுபாடு அடுத்த பிரிவில் விளக்கப்படுகிறது. 0.8 Mev இயக்க ஆற்றலைச் சிதைவு எலெக்ட்ரானும் ஆன்டி நியூட்ரினோவும் அவற்றின் விருப்பப்படி எவ்வகையிலும் பங்கிட்டுக்கொள்ள வேண்டும் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. எனவே, நியூட்ரான் சிதைவுகளின் பெரும் தொகுதி ஒன்றில் சுழிமுதல் 0.8 Mev வரையுள்ள எந்த இயக்க ஆற்றலையும் பெற்றிருக்கக்கூடிய எலெக்ட்ரான்களைக் காணலாம். நியூட்ரான் ஒன்று ஒரு புரோட்டானாகவும் ஒரு எலெக்ட்ரானாகவும் மட்டும் சிதைவுறுமாயின் அந்த எலெக்ட்ரான் முழு இயக்க ஆற்றலாகிய 0.8 Mev-ஐப் பெற்றிருக்கும். ஒரு காந்தப்புலத்தில் எலெக்ட்ரான் பாதையின் வளைவு ஆரத்தை அளவிடுவதன் மூலம் எலெக்ட்ரான் ஆற்றலைச் சோதனைமூலம் மதிப்பிடலாம் (படம் 8-8). அத்தகைய சோதனைகளிலிருந்து பீட்டாக்கதிர்கள் அவற்றிற்குரிய பெரும இயக்க ஆற்றலை (0.8 Mev) அரிதாகவே பெற்றுள்ளன எனத் தெரியவருகிறது. "காணாமற்போன" இந்த இயக்க ஆற்றலுக்கு என்ன நேர்ந்தது என்ற 'புதிரே' முதன்முதலாக நியூட்ரினோவின் 'புதுப்புனைவு' (invention)-க்குக் காரணமாயமைந்தது என்பது வரலாறு.

ஆற்றல் அழிவின்மைக்கு ஊறு நேராமலிருக்கும் பொருட்டு 1930ஆம் ஆண்டில் W. பௌலி என்பார் கண்டுணரமுடியாத, இலேசான, நடுநிலைத் துகள் ஒன்று காணாமற்போன இந்த ஆற்றலைத் தாங்கிச் செல்லலாம் என எடுத்துரைத்தார். அதை

யடுத்து விரைவிலேயே E. ஃபெர்மி என்பார் அத் துகளுக்கு நியூட்ரினே (சிறிய நடுநிலைத் துகள்) எனப் பெயரிட்டார். மேலும், அனைத்தின ஃபெர்மி செயலெதிர்ச் செயல் எனப்படும் மென் செயலெதிர்ச் செயல்களைப் பற்றிய மேலும் பொதுவான நவீன கொள்கையையொத்த பீட்டாச்சிதைப்பற்றிய கொள்கை ஒன்றையும் உருவாக்கினர். நியூட்ரினே என்ற அத்தகைய துகள் இருக்கிறதா என்பதைச் சரிபார்ப்பதற்கான மற்ருெரு முறை அதன் உந்தத்தை அளவிடுவதாகும். தனித்த பீட்டாச் சிதைவு ஒன்றின் முகிலறைப்படம் ஒன்றில் எலெக்ட்ரான் ஆற்றலை அளவிட முடியும். இந்த அளவீடு நியூட்ரினேவின் ஆற்றலை மதிப்பிடுவ தோடன்றி $P = W/c$ என்ற தொடர்பின்மூலம் அதன் உந்தத் தையும் மதிப்பிடுகிறது. எனவே, எலெக்ட்ரான் உந்தத்தையும் எஞ்சிய அணுக்கருவின் பின்னுதைப்பு உந்தத்தையும் அளவிடுவதன் மூலம் நியூட்ரினே உந்தத்தைத் தனிப்பட்ட முறையில் மதிப்பிடக் கூடும். நியூட்ரினேவின் ஆற்றல் மற்றும் உந்தங்களின் இம் மதிப் பீடுகள் $P = W/c$ என்ற தொடர்பின் மூலம் கொள்கை அடிப் படையில் முன்னுரைக்கப்பட்ட மதிப்புக்களுடன் எப்பொழுதும் பொருந்தியிருந்தன. நியூட்ரினேவின் 'புதுப்புனைவு' ஆற்றல் மற்றும் உந்த அழிவின்மை விதிகளைக் காப்பாற்றியதோடு கோண உந்த அழிவின்மையையும் காப்பாற்றுகிறது. குவாண்டம் விசை யியலின்படி ($P + e^-$ போன்ற) இரு சுழற்சி - $\frac{1}{2}$ துகள்கள் $\frac{1}{2}$ சுழற்சியையே கொண்ட நியூட்ரானின் கோண உந்தத்திற்குச் சமமான மொத்தக் கோண உந்தத்தைப் பெற முடியாது எனப் பிரிவு 13-1-ல் கூறப்பட்டது. எனினும் நியூட்ரானின் சிதைவில் கிடைக்கும் சுழற்சி - $\frac{1}{2}$ கொண்ட மூன்று துகள்களின் கோண உந்தங்களும் சேர்ந்து $\frac{1}{2}(h/2\pi)$ என்ற மொத்த கோண உந்தத்தை அளிக்கக் கூடும்.

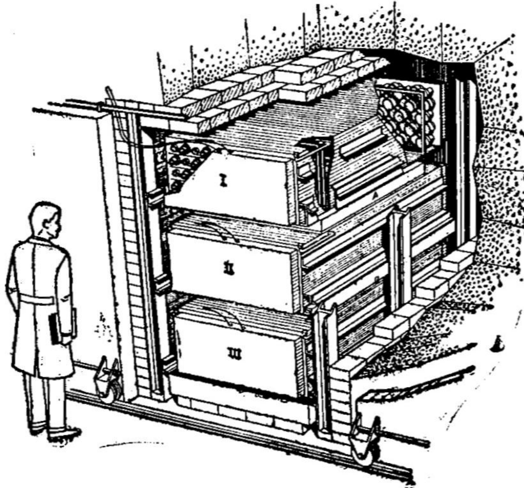
நியூட்ரினேக்கள் சிதைவுப் பொருட்களாக வெளிப்படுவதற் கான சான்று மிகவும் மன நிறைவு அளிப்பதாய் உள்ளது. எனினும் பௌதிகர்கள் நியூட்ரினேக் கற்றை ஒன்று நேரடிச் செயலெதிர்ச் செயலுக்கு உள்ளாவதைக் காண்பதன் மூலம் மேலும் மனநிறைவெய்த விரும்பினர்கள். ஃபெர்மி கொள்கை யின்படி நிறை வேறுபாட்டை ஈடு செய்யும் அளவிற்குப் போது மான ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளன ஆன்டி நியூட்ரினேக்கள்



$$\bar{\nu} + P \longrightarrow N + e^+$$

என்னும் வினைக்கு உள்ளாக வேண்டும்; e^+ என்பது ஒரு பாஸிட் ரான் (நேரின எலெக்ட்ரான்) ஆகும். எனினும் இந்த நேரடி நியூட்ரினே செயலெதிர்ச் செயல் நிகழ்ச்சி நிகழ்வது அரிது என

முன்னுரைக்கப்பட்டது. இச்செயலெதிர்ச் செயலைப் பெறுவதற்கென ஒரே ஒரு வழி மீச்செறிவுள்ள ஆன்டி நியூட்ரினோக் கற்றை ஒன்றைப் பெறுவதேயாகும். அணு உலையில் அண்மையில் ஏற்பட்டுள்ள முன்னேற்றம் இதற்கு வழிகோலியது. அத்தகைய சோதனைக்குத் திறன்மிக்க அணு உலையும் நுட்பமான, பெரிய அளவிலான உணர்கருவியும் தேவைப்படுகின்றன. லாஸ் அலமாஸில் (Los Alamos) விஞ்ஞானிகள் குழு ஒன்று படம் 16-2-ல் காட்டப்பட்டுள்ள உணர் கருவியைப் பயன்படுத்தி இச் சோதனையை மேற்கொண்டது. அதன் பயனாய் 1956-ல் அது வரை பிடிபடாமலிருந்த நியூட்ரினோ மனிதனிடம் சிக்கியது.



படம் 16-2

அணு உலைச் சிலவற்றிலுள்ள நியூட்ரினோ உணர்க்கருவியின் வெட்டு முகத் தோற்றம் I. II. III தொட்டிகள் ஒவ்வொன்றும் 370 காலன்கள் திரவமின் மினுப்பான்களைக் (liquid scintillators) கொண்டுள்ளன; அவை ஒவ்வொன்றும் 110 ஒளிமின் பெருக்கிக் குழாய்களை (photo multiplier tubes) இயக்குவிக்கின்றன. $\bar{v} + P \longrightarrow N + e^{+}$ என்ற வினையில் தோன்றும் பாசிட்ரான் திரவ மின்மினுப்பானில் தனித்தனி ஒளித்துடிப்புக்களை விளைவிக்கும் (நன்றி: லாஸ் அலமாஸ் அறிவியல் ஆய்வுக் கூடம் மற்றும் டாக்டர் F. ரெய்னஸ்-Reines)

கனத் துகள்களின் அழிவின்மை விதியின் பயனாய் கட்டுறு புரோட்டான் மென் செயலெதிர்ச் செயல்களில் பங்கு கொள்வதில்லை. புரோட்டானை விடக் குறைந்த நிறையுள்ள கனத் துகள் இல்லையாதலால் அது வேறு எந்தத் துகள்களாகவும் சிதைவுறுவதற்கு இயலுவதில்லை.

அடுத்து கட்டுறு நியூட்ரானின் அரை ஆயுள் 12 நிமிடங்கள் எனில் அணுக்கருக்களில் உள்ள நியூட்ரான்கள் எவ்வாறு நிலை பெற்றிருக்க முடியும் என்ற கேள்வி எழுகிறது. நியூட்ரானை அணுக்கருவுடன் பிணைக்கும் பிணைப்பாற்றல் அந்நிலையில் நியூட்ரானின் நிறையைப் புரோட்டானின் நிறையை விடக் குறைந்த அளவுக்குக் குறைக்கிறது எனக் கூறுவது இப்'புதிருக்கு' விடையளிப்பதற்கான ஒரு வழியாகும். அணுக்கரு ஒன்று அதன் பிணைப்பாற்றலின் பயனாய் அது சிதைவுறுவதால் கிடைக்கும் துகள்களின் மொத்த நிறையை விடக் குறைந்த நிறையைப் பெற்றிருப்பின் ஆற்றல் அழிவின்மை விதியின் காரணமாக அத்தகைய அணுக்கரு நிலைபெற்றிருக்கும் ஒரு ஐஸோடோப்புகள் மட்டும் நிலையாய் அமைந்து மற்றவை யாவும் கதிரியக்கமுள்ளவையாய் இருப்பதற்கு இதுவே காரணமாகும். காட்டாக ஹைடிரஜனும் டியூட்ரியமும் நிலையானவையாகும்; ஆனால் டிரிஷியம் (ஒரு புரோட்டானையும் இரு நியூட்ரான்களையும் கொண்டது) நிலையானது அல்ல.

மாதிரிக் கணக்கு

டிரிஷியம், ஹீலியம் 3 ஆகியவற்றின் அணுக்கரு நிறைகள் முறையே

$$M_{H^3} = 2805.205 \text{ Mev}$$

$$M_{He^3} = 2804.676 \text{ Mev}$$

ஆகும். எலெக்ட்ரான் நிறை

$$M_{e^-} = 0.511 \text{ Mev}$$

ஆகும். டிரிஷியம் பீட்டாச் சிதைவுறுமா? அவ்வாறாயின் பீட்டாக் கதிர் பெறக்கூடிய பெரும ஆற்றல் எவ்வளவு?

டிரிஷியத்தின் நிறையானது He^3, எலெக்ட்ரான் ஆகியவற்றின் மொத்த நிறையை விட அதிகமாக இருக்க நேருமாயின்



$$H^3 \longrightarrow He^3 + e^- + \bar{\nu}$$

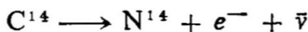
என்ற வினை நிகழ்வது ஆற்றல் அழிவின்மை விதிக்கு முரண்பாடாயிராது. e^-, $\bar{\nu}$ ஆகியவை பங்கிட்டுக் கொள்ளும் இயக்க ஆற்றலானது

$$M_{H^3} - (M_{He^3} + M_{e^-}) = 2805{\cdot}205 - (2804.676 + 0.511)$$
$$= 0.018 \text{ Mev}$$

என்ற நிறை வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகும். எனவே, டிரிஷியம் மாதிரிக் கூறிலிருந்து வெளித்தோன்றும் சிதைவு எலெக்ட்ரான்கள் சுழி முதல் 0.018 Mev வரையுள்ள ஆற்றல்களைப் பெற்றிருக்கும்.

கனநீரை நியூட்ரான்களால் தாக்குவதன் மூலம் டிரிஷியத்தை உருவாக்கலாம். டிரிஷியத்திலிருந்து வெளிப்படும் சிதைவு எலெக்ட்ரான்கள் அல்லது பீட்டாக் கதிர்கள் 0·018 Mev வரை இயக்க ஆற்றல்களைக் கொண்டிருப்பதாகக் காணப்பட்டுள்ளன. இத்தகைய டிரிஷியத்தின் அரை ஆயுள் 12 ஆண்டுகள் என்றும் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது.

பீட்டாச் சிதைவுக்கான மற்றொரு எடுத்துக்காட்டு C^{14} ஆகும். அது சிறிய அளவுகளில் இயற்கையில் கிடைக்கிறது. அது காஸ்மிக் கதிர்கள் அல்லது ஹைடிரஜன் குண்டு வெடிப்புக்களால் உருவாகும் நியூட்ரான்களை வளிமண்டலம் உட்கவருவதால் உருவாக்கப்படுகிறது. C^{14} அணுக்கருவானது N^{14}, ஒரு எலெக்ட்ரான் ஆகியவற்றின் மொத்த நிறையைவிடச் சற்றே அதிகமான நிறையைக் கொண்டுள்ளது. எனவே மென்செயலெதிர்ச் செயலின் பயனாய் அது



$$C^{14} \longrightarrow N^{14} + e^{-} + \bar{\nu}$$

என்ற முறையில் சிதைவுறவேண்டும். இங்கு, அரை ஆயுள் T = 5000 ஆண்டுகளாகும். மாறாக நிலையான ஐஸோடோப்பான C^{12} 12 நியூக்ளியான்களைக் கொண்டமைந்த எந்தவொரு இணைப்பின் நிறையையும் விடக் குறைந்த நிறையைக் கொண்டுள்ளது. ஆற்றல் அழிவின்மை விதியின்படி C^{12} சிதைவுறுவதற்கு வழியில்லை. எனவே, அது மென்செயலெதிர்ச் செயலினின்றும் தன்னைக் காத்துக்கொள்கிறது. உருவாகும் பெரும்பான்மையான கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகள் பீட்டாச் சிதைவுற்று பாஸிட்ரானையோ எலெக்ட்ரானையோ தருகின்றன. அப்போது நியூட்ரினோவோ ஆன்டி நியூட்ரினோவோ பிறக்கும்.

16-3 ஆன்டிப் பொருள் (Anti matter)

ஆன்டி உலகு (Anti world)

சுழற்சி-½ துகள்களைப் பற்றிய சார்பியல் குவாண்டம் கொள்கை நமக்குத் தவிர்க்கைத் தத்துவத்தை அளிப்பதோடன்றி ஆன்டித் துகள் என்னும் ஒரு துகள் இருப்பதையும் முன்னுரைக்கிறது. ஒரு துகளின் ஆன்டித் துகளானது அதே நிறையை ஆனால் எதிர்வகை மின்னூட்டத்தைக் கொண்டிருக்கவேண்டும். மேலும் ஒரு ஆன்டித் துகள் அதற்குரிய துகளால் அழிக்கப்படக்கூடும். அவ்வாறாயின் அவ்விரு ஒய்வு நிறைகளும் ஃபோட்டான்கள் போன்ற மற்ற துகள்களின் வடிவில் நேரடியாக ஆற்றலாக மாற்றப்படுகின்றன. மனிதன் அறிந்த முதல் ஆன்டித் துகள்

பாஸிட்ராஞகும். அது 1933-ல் காஸ்மிக் கதிர்கள் ஊடுருவிய முகிற்கலத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. பாஸிட்ரான் இருப் பதைச் சார்பியல் குவாண்டம் கொள்கை முன்னரே முன்னுரைத் திருப்பினும் முதல் பாஸிட்ரான் எதிர்பாராமலேயே கண்டுபிடிக் கப்பட்டது. பாஸிட்ரான் அல்லது நேரின எலெக்ட்ரானைப் போன்ற அதே நிறையையும் ஆனல் எதிர்வகை மின் னூட்டத்தையும் கொண்டுள்ளது. ஒரு பாஸிட்ரான் பருப் பொருளில் ஓய்வு பெறும்பொழுது ஒரு எலெக்ட்ராஞல் விரை வாக அழிக்கப்பட்டு அவை யிரண்டும் வழக்கமாக இரு ஃபோட் டான்களாக உருவெடுக்கின்றன.

$$e^{+} + e^{-} \rightarrow 2\gamma$$

ஒவ்வொரு ஃபோட்டானும் ஒரு எலெக்ட்ரானின் ஓய்வு நிறை யான 0.51 Mev என்ற ஆற்றலைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். பாஸிட்ரான்கள் இரட்டைத் துகளாக்கம் (Pair production) என்னும் நிகழ்ச்சியில் (உயர் ஆற்றல் ஃபோட்டான் ஒன்று அணுக் கரு ஒன்றை மோதும்பொழுது ஒரு எலெக்ட்ரான்-பாஸிட்ரான் இணையமாக-pair- முற்றிலுமாக மாற்றப்படுகிறது) எளிதாக உருவாக்கப்படுகின்றன.

$$\gamma \rightarrow e^{+} + e^{-}$$

மேற் கூறப்பட்ட நிகழ்ச்சி ஆற்றலானது ஓய்வு நிறையாக நேரடி யாக மாற்றப்படுவதற்கான பல எடுத்துக் காட்டுகளில் ஒன்ருகும். முன் பிரிவில் கூறப்பட்டபடி எலெக்ட்ரான்களும் பாஸிட்ரான் களும் பீட்டாச் சிதைவின் விளைபொருட்களாக அமையக்கூடும். பீட்டாச் சிதைவில் ஒரு பாஸிட்ரான் எப்பொழுதும் ஒரு நியூட்ரினேவுடன் வெளிப்படுகிறது.

ஒரு புரோட்டானின் ஆன்டித் துகள் ஆன்டிப் புரோட்டான் அல்லது எதிரினப் புரோட்டான் $\overline{P}$ என அழைக்கப்படுகிறது. 1933-ல் பாஸிட்ரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பின்னர் ஆன்டிப் புரோட்டானும் இருக்கவேண்டுமென பல விஞ்ஞானிகள் கருதினர். கொள்கையின்படி அணுக்கருக்களை ஆறு பில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் இயக்க ஆற்றலுடன் கூடிய புரோட் டான்களைக் கொண்டு தாக்குவதன்மூலம் ஆன்டிப் புரோட்டான் களை உருவாக்க முடியும்.

$$P + P \rightarrow P + P + \overline{P} + P$$

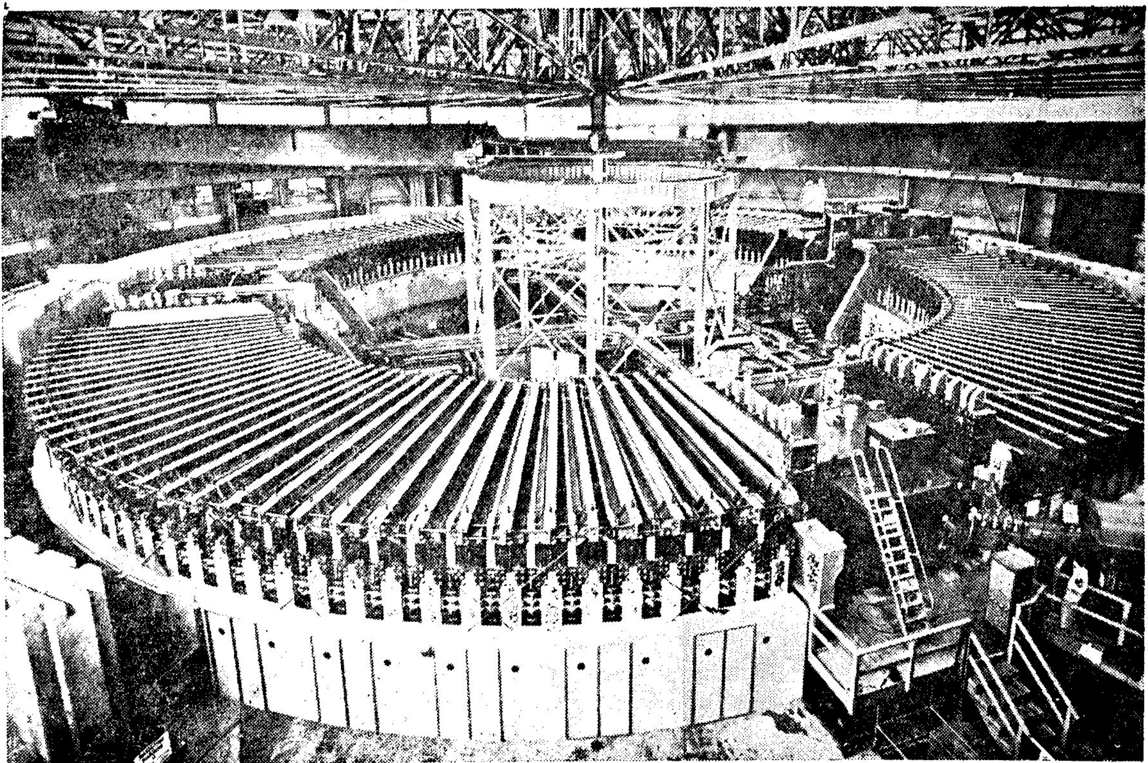
என்பது ஆன்டிப் புரோட்டான்களை உருவாகக்கூடிய வினைகளுள் ஒன்ருகக் கருதலாம். 6 Bev ஆற்றலானது ஓய்வு நிறை ஆற்றல் மற்றும் புரோட்டா-ஆன்டிப் புரோட்டான் இணையத்தின் இயக்க

ஆற்றல் ஆகியவையாக நேரடியாக மாற்றப்படுகிறது. ஆன்டிப் புரோட்டானைக் கண்டுபிடிப்பதற்கான சாத்தியக் கூறுனது அமெரிக்க அணு ஆற்றல் குழுவினரை, கலிஃபோர்னியா மாநிலத்தின் பெர்க்லியிலுள்ள பீவாட்ரான் எனப்படும் உயர் ஆற்றல் புரோட்டான் முடுக்கியை அமைப்பதற்குத் தூண்டிய முக்கிய காரணங்களுள் ஒன்றாக அமைந்தது. படம் 16-3-ல் காட்டப்பட்டுள்ள பீவாட்ரான் புரோட்டான்களை 6.2 Bev இயக்க ஆற்றலுக்கு முடுக்குவிக்கிறது. இந்த ஆற்றல் நியூக்ளியான்-ஆன்டி நியூக்ளியான் இணையங்களை உருவாக்குவதற்குச் சற்றே போதுமானதாக உள்ளது. பீவாட்ரான் தொழிற்படத் தொடங்கிய இரண்டாவது ஆண்டான 1955-ல் ஆன்டி புரோட்டான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. மேலும் ஓராண்டுக்குப் பின்னர் ஆன்டி நியூட்ரான் $\overline{N}$ கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. நியூட்ரான் மின்னூட்டமற்றிருப்பதால் ஆன்டி நியூட்ரானும் மின்னூட்டமற்றிருக்கவேண்டும். எனினும், ஆன்டி நியூட்ரான் ஒரு நியூட்ரானுலோ அல்லது ஒரு புரோட்டானுலோ விரைவாக அழிக்கப்படுகிறது. ஆன்டி நியூக்ளியான் அழிக்கப்படும்பொழுது கிடைக்கப் பெறும் விளைபொருட்கள் பொதுவாகப் பயான்களாகும் (பிரிவு 16.5 பார்க்க). படம் 16-4-ல் ஆன்டிப் புரோட்டான் ஒன்று திரவ ஹைடிரஜன் குமிழ்க்கலம் ஒன்றினுள் நுழைந்து, ஓய்வு பெற்று ஹைடிரஜன் அணுக்கருக்களுள் ஒன்றால் அழிக்கப்படுகிறது. குறிப்பிட்ட இப்படத்தில் ஆன்டிப் புரோட்டான், புரோட்டான் ஆகியவற்றின் ஓய்வு நிறையானது ஐந்து பயான்களாக மாற்றப்படுகிறது.



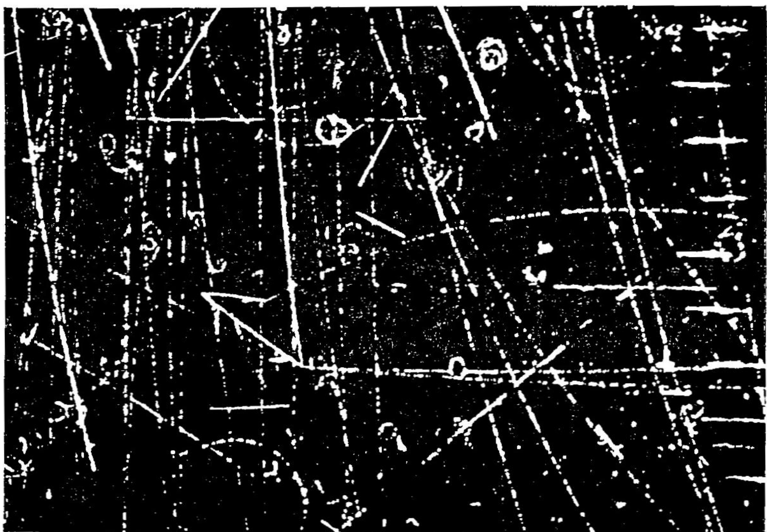
$$\overline{P} + P \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^- + \pi^- + \pi^0$$

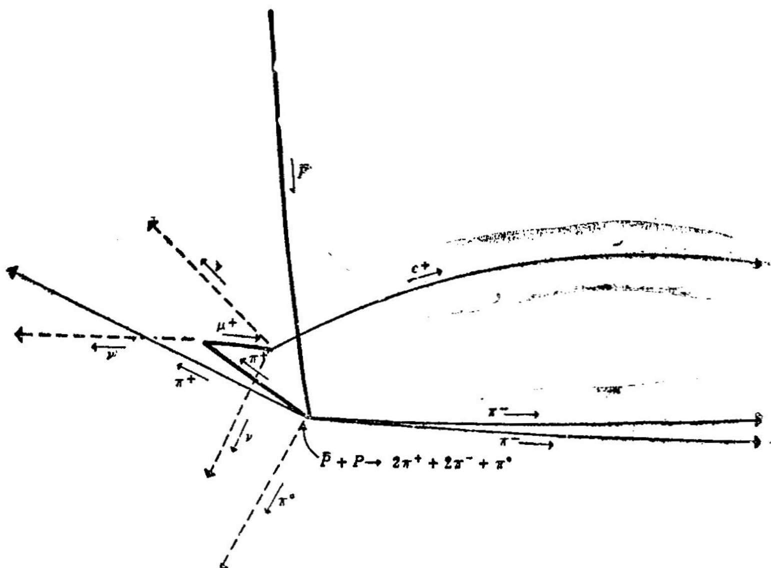
ஹைடிரஜன் அணுக்கள் யாவும் எதிரின புரோட்டான்கள் (ஆன்டிப் புரோட்டான்கள்) மற்றும் நேரின எலெக்ட்ரான்கள் (பாஸிட்ரான்கள்) ஆகியவற்றால் ஆக்கப்படாமல் நேரின புரோட்டான்கள் மற்றும் எதிரின எலெக்ட்ரான்களால் ஆக்கப்பட்டிருப்பது ஏன் என்ற கேள்வி எழுகிறது. அத்தகைய ஆன்டிப் புரோட்டான் மற்றும் பாஸிட்ரானுல் ஆக்கப்பட்ட 'மறிநிலை' (Reversed) ஹைடிரஜன் அணு ஆன்டி ஹைடிரஜன் அணு என அழைக்கப்படுகிறது. ஆன்டி நியூக்ளியான்களாலும் அவற்றை வலம் வரும் பாஸிட்ரான்களாலும் ஆக்கப்பட்ட பருப்பொருள் ஆன்டிப் பொருள் என அழைக்கப்படுகிறது. எதிர் மின்னூட்டத்தைவிட நேர் மின்னூட்டம் விரும்பப்படுவதற்கான காரணத்தை அறிவது கடினமாக உள்ளது. மாறாக, புவியிலோ அல்லது நமது நட்சத்திர மண்டலத்திலோகூட ஆன்டிப் பொருள்



படம் 16–3

கலி.:போர்னியா மாநிலத்தின் பெர்க்லியிலுள்ள கலி.:போர்னிய பல்கலைக் கழகத்தில் அமைந்துள்ள பீவாட்ரான்
(நன்றி: லாரென்ஸ் கதிர்வீச்சு ஆய்வுக் கூடம்)





படம் 16-4

திரவ ஹைடிரஜன் குமிழ்க்கலம் ஒன்றினுள் ஆன்டி புரோட்டான் ஒய்வு பெறுதல் ஆன்டி புரோட்டான புரோட்டான் ஒன்றினால் அழிக்கப் படுகிறது. அழிவு விளைவுப் பொருட்கள் ஐந்து பயன்களாகும். நேரின பயான்களில் ஒன்றும் ஒய்வு பெற்று பின்னர் μ^+ ஆகச் சிதைவுறுகிறது. இந்த μ^+-ம் ஒய்வுபெற்று ஒரு பாசிட்ரானைக் சிதைவுறுகிறது (நன்றி: லாரென்ஸ் கதிர்வீச்சு ஆய்வுக் கூடத்தின் திரவ ஹைடிரஜன் குமிழ்க்கலக் குழு).

இருக்குமாயின் அது அதிக காலம் நீடித்திருக்காது. அது விரைவாக அழிந்து ஒரு ஹைடிரஜன் குண்டை விட 1000 மடங்கு திறனுடன் ஆற்றலை வெளிவிடும். தற்பொழுது சில நட்சத்திர மண்டலங்கள் ஆன்டிப் பொருளால் ஆக்கப்பட்டிருக்கலாம் என்ற ஊகம் இருப்பினும் அதற்கான போதிய சான்று இல்லை.

16-4 ஆன்டித் துகள் சீரமைவு (Antiparticle symmetry)

ஆன்டி உலகு மாறுபட்டதா ?

ஏதோவொரு பௌதிகச் சோதனையின்போது துகள்கள் யாவும் அவற்றின் ஆன்டித் துகள்களாகத் திடீரென மாற்றப்படுவதாகக் கருதுவோம். சோதனையானது தொடர்ந்து அதே முடிவுகளை அளிக்குமா? ஆன்டித் துகள்களும் அவற்றின் துகள்களைப் போன்று அதே பௌதிக விதிகளுக்கு உட்படவேண்டும் என்ற புனைகருத்து 1957ஆம் ஆண்டுவரைப் பௌதிகர்களிடையே நிலவிவந்தது. கொள்கையளவில் ஒரு குறிப்பிட்ட பௌதிக அமைப்பு ஆன்டிப் பொருளால் ஆக்கப்பட்டுள்ளதா எனக் கூறுவதற்கு வழியேதும் இல்லை. இந்த அடிப்படைச் சீரமைவுத் தத்துவத்தை ஆன்டித் துகள் சீரமைவு என அழைப்போம். கொள்கையியல் பௌதிகர்கள் இதனை மின்னூட்ட மாற்றிணைவு மாற்றமின்மை விதி (Law of charge conjucation invarience) எனக் கூறுவது வழக்கம். மின்னூட்ட மாற்றிணைவு என்பது மற்ற எதையும் அதே நிலையில் வைத்து ஒவ்வொரு துகளையும் அதற்குரிய ஆன்டித் துகளாக மாற்றும் ஒரு கணிதவியல் செயல்முறை ஆகும். ஹைடிரஜன் அணுவின் மின்னூட்ட மாற்றிணைவு ஆன்டி ஹைடிரஜன் ஆகும். ஆன்டித் துகள் சீரமைவானது ஆன்டி ஹைடிரஜன் வாயு வெளிவிடும் அலைமாலை, சாதாரண ஹைடிரஜன் வெளிவிடும் அலைமாலையைப் போலவே இருக்கவேண்டும் என முன்னுரைக்கிறது. ஆன்டித் துகள்களை உருவாக்குவது கடினமாதலால் (ஆன்டி ஹைடிரஜன் இதுவரை உருவாக்கப்படவில்லை) ஆன்டித் துகள் சீரமைவுத் தத்துவத்தின் சில கருத்துக்களைச் சோதனைமூலம் சரிபார்ப்பது கடினமாக உள்ளது.

உண்மையில் 1957-ல் மென் செயலெதிர்ச் செயலானது ஆன்டித் துகள் சீரமைவுத் தத்துவத்திற்கு முரண்படுவதை அறிந்த அளவிலே அதிர்ச்சியுற்றனர். இந்த முரண்பாட்டின் தன்மையைப் பற்றி பிரிவு 16-6-ல் காணலாம்.

16-5 முப்பது அடிப்படைத் துகள்கள்

அவை யாவும் அடிப்படையா ?

எஞ்சியிருக்கும் 21 அடிப்படைத் துகள்களும் இப் பகுதியில் ஒன்றன் பின் ஒன்ருக அறிமுகப்படுத்தப்படும். சில குறிப்பிட்ட ஒருங்கிணைக்கும் பண்புகளும் தொகுப்புக்களும் தெளிவாகத் தோன்றிஞலும் இங்கு கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் குறிப்புக்கள் நம்மைத் திணற அடிப்பதாகத் தோன்றுவதோடு அடிப்படைத் துகள்களைவிட மேலும் அடிப்படையானதும் எளியதுமான துகள்கள் இருக்குமோ என வியப்படையச் செய்யும். இதுவே இப்பொழுது பௌதிகம் எதிர்நோக்கும் சிறப்புக் கேள்வியுமாகும். இந்நூலில் இப்பொழுது நாம் மனித அறிவு மற்றும் பௌதிக உலகைப் பற்றிய அறிவு ஆகியவற்றின் புற எல்லையை (Outer frontier) அடைந்துள்ளோம். இந்நூலின் எஞ்சிய பகுதிகள் பௌதிக உலகைப் பற்றிய நமது தற்போதைய 'முன்ஞேடி' ஆராய்ச்சிக்கான ஒரு சில கருத்துக்களை அளிக்க முயலுகின்றன.

இதுவரை ஆராயப்படாத இருவகை அடிப்படைத் துகள்கள் உள்ளன. இவ்விருவகைத் துகள் யாவும் அழிந்துவிடுவனவாகும். ஒரு வகைத் துகள்கள் எலெக்ட்ரானைவிட எடைமிக்கது, ஆனுல் புரோட்டானைவிட எடை குறைந்தது. இத் துகள்கள் மெஸான் கள் எனப்படுகின்றன. மற்றவகைத் துகள்கள் புரோட்டானைவிட ஓரளவு எடைமிக்கன. இவை ஹைப்பரான்கள் (Hyperons) எனப்படுகின்றன. ஹைப்பரான்கள் எப்பொழுதும் நியூக்ளியான் களாகச் சிதைவுறுவதால் அவைகளையும் கனத் துகள்களாக வகைப் படுத்த வேண்டும்; எனவே அவை கனத் துகள்கள் அழிவின்மை விதிக்கு (கனத் துகள்களின் மொத்த எண்ணிக்கை மாருமலிருக்க வேண்டும்) உட்படவேண்டுப்.

மெஸான்கள்

மியூயான்கள், பயான்கள், K மெஸான்கள் என்ற வெவ்வேறு வகை மெஸான்கள் உள்ளன. மியூயான் நிறை புரோட்டான் நிறையைப் போல் ஏறத்தாழ $\frac{1}{8}$ மடங்கும் பயன்நிறை புரோட் டான் நிறையைப்போல் ஏறத்தாழ $\frac{1}{7}$ மடங்கும் K மெஸானின் நிறை புரோட்டானின் நிறை புரோட்டானின் நிறையில் ஏறத்தாழ பாதியும் உள்ளது.

எலெக்ட்ரானைப் போலவே மியூயான்களும் சுழற்சி—$\frac{1}{2}$-ஐக் கொண்டிருப்பதோடு நேரின, எதிரின மின்னூட்டங்களோடு மட்டுமே ($\mu-$, $\mu+$) காணப்படுகின்றன. நடுநிலை மியூயான்

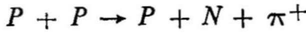
காணப்படவில்லை. மியூயான்கள் அவற்றின் நிறையைத் தவிர எலெக்ட்ரான்களைப் போலவே தோற்றமளிக்கின்றன; எனவே, அவற்றைக் கன எலெக்ட்ரான்களாகக் கருதலாம். எனினும், இயற்கையில் வேறெந்த கன எலெக்ட்ரான்களும் கிடைக்கப் பெறுவதில்லை. கொள்கையியல் பௌதிகத்தில் இப்போதுள்ள பிரசினைகளில், ஏன் இருவகை 'எலெக்ட்ரான்கள்' மட்டும் இயற்கையில் உள்ளன என்ற புதிரும் ஒன்று. $\mu+$, $\mu-$-ன் ஆன்டித் துகள் ஆகும். அனைத்தின ஃபெர்மி செயலெதிர்ச் செயலின் பயனாய் மியூயான் 1.5×10^{-6}வி அரை ஆயுளைக் கொண்டு ஒரு எலெக்ட்ரானாகவும் இரு நியூட்ரினோக்களாகவும் சிதைவுற வேண்டும்.

$$\mu- \rightarrow e- + v + \bar{v}$$

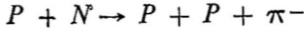
அனைத்தின ஃபெர்மிச் செயலெதிர்ச் செயலின்படி v, e, μ என்ற மூன்று சுழற்சி - $\frac{1}{2}$ துகள்களும் பல பொதுவான பண்புகளைப் பெற்று லெப்டான்கள் (leptons) என அழைக்கப்பெறுகின்றன. இப்பொழுது முதல் மியூயானை மெஸான் என்னாது லெப்டான் என அழைப்போம்.

பயான்கள் சுழிச்சுழற்சியைக் கொண்டு எதிரின, நேரின மின்னூட்டங்களோடும் மின்னூட்டமின்றியும் ($\pi-$, $\pi+$, π^0 கிடைக்கப் பெறுகின்றன. $\pi-$, $\pi+$-ன் ஆன்டித் துகளாகும். ஃபோட்டானுக்குள்ளதுபோல் π^0-ன் ஆன்டித் துகளும் π^0 ஆகும். பயான்கள் உளதாயிருப்பதற்கான 'காரணத்தைப்' புரிந்து கொள்வதென்பது மியூயான்களுக்கான காரணத்தைவிட எளிதாயுள்ளது. உண்மையில், 1936-ல், பயான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதற்குப் பதினொரு ஆண்டுகளுக்கு முன்னர் H. யுகாவா என்பவரால் அத்தகைய ஒரு துகள் இருப்பது முன்னுரைக்கப்பட்டது. குவாண்டம் விசையியல் மின்விசைக்கு விளக்கம் கூறும் அதே முறையில் வலிமையான அணுக்கரு விசைக்கும் யுகாவா விளக்கம் கூற முயன்றார். குவாண்டம் விசையியலில் மின்விசையானது மின்னூட்டமொன்று தோற்றவியல் குவாண்டம்களை (virtual quanta) (ஃபோட்டான்கள்) தொடர்ந்து வெளிவிட்டுக் கொண்டும் உட்கவர்ந்து கொண்டும் உள்ளது என்ற அடிப்படையில் விளக்கப் படுகிறது. வலிமையான, குற்றெல்லை அணுக்கருவிசையை விளக்கும் பொருட்டு யுகாவா புதிய வகைத் தோற்றவியல் குவாண்டம் ஒன்றைப் புனைந்துருவாக்கினார். குவாண்டம் கொள்கையானது இப் புதியவகைத் துகளின் (குவாண்டம்) நிறையை அணுக்கருவிசையின் நெடுக்கத்தின் (range) அடிப்படையில் கூறுகிறது. இவ்வாறு யுகாவாவால் முன்னுரைக்கப்பட்ட

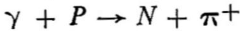
நிறையானது பயானின் அளவிடப்பட்ட நிறையுடன் மிகவும் பொருந்துகிறது. யுகாவா சரியான நிறையை முன்னுரைத்த தோடன்றி பயான்கள் நியூக்ளியான்களுடன் வலிமையாகச் செயலெதிர்ச் செயற்படும் எனவும் முன்னுரைத்தார். காட்டாக, நியூக்ளியான்களின் மோதல்களினால் பயான்கள் எளிதில் உருவாக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய மோதல்களில் நியூக்ளியான்களின் இயக்க ஆற்றல் நேரடியாக ஓய்வு நிறையாக மாற்றப்படுகிறது. பயானை விளைவிக்கும் சில வினைகள் பின்வருமாறு :



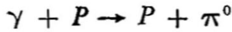
$$P + P \rightarrow P + N + \pi^+$$



$$P + N \rightarrow P + P + \pi^-$$



$$\gamma + P \rightarrow N + \pi^+$$

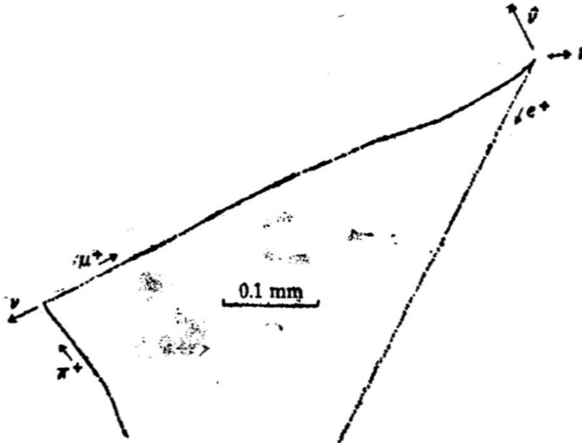


$$\gamma + P \rightarrow P + \pi^0$$



$$\gamma + N \rightarrow P + \pi^-$$

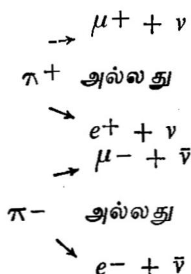
பயான்களை விளைவிப்பதற்குப் பலநூறு மில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் ஆற்றலையுடைய புரோட்டான்கள் தேவைப்படுகின்றன. அத்தகைய புரோட்டான் கற்றைகளைப் படம் 9–17-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்ற சின்க்ரோசைக்ளோட்ரான்கள் அளிக்கின்றன.



படம் 16-5

அணுக்கருச் சோதனைப் பூச்சில் பயானை நிறுத்துவதால் ஏற்படும் சுவட்டின் படம். $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$ என்ற சிதைவைத் தொடர்ந்து $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}$ என்ற சிதைவு ஏற்படுவதைக் காணலாம். (நியூட்ரினோக்களுக்கு உரிய சுவடுகள் இல்லை). நிழற்படப் பூச்சின் துணுக்குகளை ஒளியால் மட்டுமின்றி மின்னூட்டத் துகள்களின் மோதலாலும் உணர்திற மூட்டலாம்.

அணுக்கருச் சோதனைப் பூச்சில் (nuclear emulsion) காஸ்மிக் கதிர்களின் சுவடுகளை (படம் 16-5) ஆராய்வதன் மூலம் முதன் முதலாக 1947-ல் காஸ்மிக் கதிர்களில் பயான் கண்டுபிடிக்கப் பட்டது. அதையடுத்த ஓராண்டுக்குப் பின்னர் மனிதனால் விளைவிக்கப்பட்ட முதல் பயான் பெர்க்லி சின்க்ரோசைக்ளோட்ரானில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. மென் செயலெதிர்ச் செயலின் பயனாய் மின்னூட்டங் கொண்ட பயான்கள் 1.8×10^{-8}வி அரை ஆயுளுடன் பின்வருமாறு சிதைவுறுகின்றன :



π^0, மென் செயலெதிச் செயலைவிட மின்காந்த செயலெதிர்ச் செயலின் (electromagnetic interaction) பயனாய் அதிவிரைவில் இரு ஃபோட்டான்களாகச் சிதைவுறுகிறது. π^0-ன் அரை ஆயுள் ஏறத்தாழ 10^{-16}வி ஆகும். π^+-ன் சிதைவையும் μ^+-ன் சிதைவையும் படம் 16-4-ல் உள்ள குமிழ்க்கலப் படத்தில் காணலாம். π^+-ன் இரு சுவடுகள் ஒன்று உண்மையில் திரவ ஹைடிரஜனில் ஓய்வு பெறுகிறது. பின்னர் அது கண்ணுறு ஒரு μ^+ சுவடாகவும் கண்ணுறப்படாத நியூட்ரினோவாகவும் சிதைவுறுகிறது. 1.1 செ.மீ. தொலைவைக் கடந்த பின்னர் μ^+-ம் ஓய்வு பெற்று கண்ணுறு ஒரு e^+ ஆகவும் கண்ணுறப்படாத இரு நியூட்ரினோக்களாகவும் சிதைவுறுகிறது.

K மெஸான்

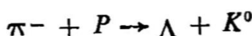
அண்மையில் கண்டு உறுதி செய்யப்பட்ட புதிய துகள்களுள் ஒன்று K மெஸான் (K Meson) ஆகும். அது சுழிச்சுழற்சியுடையதாயும், நேர்மின்னூட்டத்தைக் கொண்டதாயும், மின்னூட்டமற்றதாயும் (K^+, K^0) உள்ளது ; அவற்றிற்குரிய ஆன்டித் துகள்களும் (K^-, $\bar{K}_0$) உள்ளன. K மெஸான் அதன் அதிக நிறையின் பயனாய் மென் செயலெதிர்ச் செயல் மூலமாகச் சிதைவுறுவதற்கான பலவழிகள் உள்ளன. பின்வரும் சிதைவுமுறைகள் பதிவிடப்பட்டுள்ளன.

$$K^{+} \rightarrow \begin{cases} \pi^{+} + \pi^{0} & (\theta \text{ வகை}) \\ \pi^{+} + \pi^{+} + \pi^{-} & (\tau \text{ வகை}) \\ \pi^{+} + 2\pi^{0} \\ \mu^{+} + \nu \\ \mu^{+} + \nu + \pi^{0} \\ e^{+} + \nu + \pi^{0} \end{cases}$$

மின்னூட்டம் பெற்ற K மெஸானின் அரை ஆயுள் 0.85×10^{-8}வி. நடுநிலை K மெஸான் $7,0 \times 10^{-11}$வி அரை ஆயுளுடன் மேற் கண்ட முறைகளையொத்த முறைகளில் சிதைவுறுகிறது. கொள்கை யியல் பௌதிகத்தில் தற்போதுள்ள இரு பிரசினைகளாவன: K^{0} மெஸான் K^{+}-ஐ விட இவ்வளவு குறைந்த ஆயுட்காலத்தைப் பெற்றிருப்பது ஏன்? K மெஸான் சிதைவுக்கும் அனைத்தின ஃபெர்மி செயலெதிர்ச் செயலுக்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பு என்ன? K மெஸான்களின் உற்பத்தியைப்பற்றி அடுத்த பிரிவில் ஆராயப்படும்.

ஹைப்பரான்கள் (Hyperons)

புரோட்டானைவிட எடைமிக்க மூன்று வகை அடிப்படைத் துகள்கள் உள்ளன. இவைகள் பெரிய கிரேக்க எழுத்துக்களான Λ (லாம்டா), Σ (சிக்மா), Ξ (க்ஸை) ஆகியவற்றால் குறிக்கப் படுகின்றன. அவைகள் மென் செயலெதிர்ச் செயல் காரணமாக நியூக்ளியான்களாகச் சிதைவுறுகின்றன. எனவே, அவை கனத் துகள்களின் அழிவின்மை விதிக்கு உட்படுகின்றன. இதுவரை நாம் வன்செயலெதிர்ச் செயல் என அழைக்கப்படுவதற்கான இரு எடுத்துக்காட்டுகளைக் கண்டோம். அவையாவன: (i) நியூக்ளி யான்—நியூக்ளியான் விசை (ii) பயான்—நியூக்ளியான் செய லெதிர்ச் செயல் (காட்டாக பயான் விளைவாக்கம்). இவ்வாறே, நியூக்ளியான்கள் மற்றும் பயான்களுடன் ஹைப்பரான்கள் மற்றும் K மெஸான்களின் செயலெதிர்ச் செயல்களும் வன்செயலெதிர்ச் செயலுக்கான எடுத்துக்காட்டுகள். ஹைப்பரான்கள் மற்றும் K மெஸான்களின் விளைவாக்கம் வன்செயலெதிர்ச் செயல்களுக்கான பல எடுத்துக்காட்டுகளுள் ஒன்றாகும். மிகவும் ஆராயப்பட்ட ஹைப்பரான் விளைவாக்க வினை

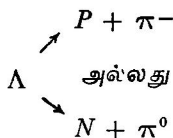


$$\pi^{-} + P \rightarrow \Lambda + K^{0}$$

ஆகும். இவ்வினையின் திரவ ஹைடிரஜன் குமிழ்கலம் படத்தைப் படம் 16-6-ல் காணலாம். இதற்குத் தேவைப்படும் உயர் ஆற்றல் பயான் கற்றைகள் Bev புரோட்டான் முடுக்கிகளில் எளிதாக தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. ஹைப்பரான் K மெஸான் ஒன்றுடன்

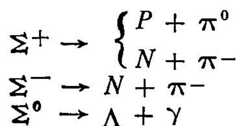
இணைந்து உருவாக்கப்படுவது குறிப்பிடத்தக்கது. உண்மையில், அது எப்பொழுதும் அப்படி நிகழவேண்டும். இந்த இணைந்த விளைவாக்கம் பயான்களாலும் நியூக்ளியான்களாலும் ஏற்படும் எல்லா ஹைப்பரான் விளைவாக்கத்திற்கும் பொருந்தும். இதன் காரணமாக ஹைப்பரான்களும் K மெஸான்களும் புத்தியல்புத் துகள்கள் (Strange particels) என அழைக்கப்பட்டு வந்தன ; இன்னமும் அழைக்கப்பட்டு வருகின்றன. இந்த வன்செயலெதிர்ச் செயல்கள் யாவும் புத்தியல்பு அழிவின்மை விதி (Conservation of strangeness) எனப்படும் புதியதொரு விதிக்கு உட்படுவதாக அறியப்பட்டுள்ளது (அதைப் பற்றிய விவரங்களை விட்டு விடுவோம்).

Λ ஹைப்பரானின் நிறையானது புரோட்டான், பயான் ஆகியவற்றின் மொத்த நிறையைவிட 37 Mev அதிகமானது. அது நடுநிலையாகவும் $\frac{1}{2}$ சுழற்சியை உடையதாகவும் உள்ளது. அதன் முக்கியச் சிதைவு முறைகள்



ஆகும்.

Σ ஹைப்பரான் Λ-ஐவிட 78 Mev கனமுள்ளதாயும் $\frac{1}{2}$ சுழற்சியுடையதாயும் உள்ளது. எனினும் Σ ஹைப்பரான்கள் நேர்மின்னூட்டங்கொண்டும், மின்னூட்டமற்றதாயும் எதிர்மின்னூட்டங் கொண்டும் உள்ளன. அவற்றின் முக்கியச் சிதைவு முறைகள் :

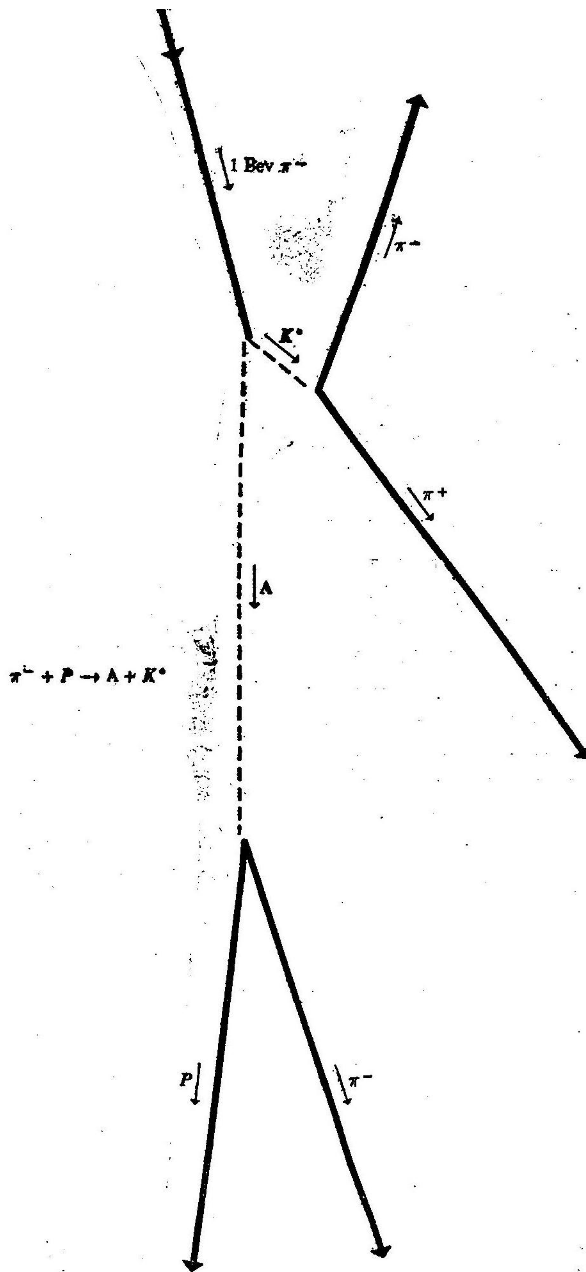


$$\Sigma^+ \rightarrow \begin{cases} P + \pi^0 \\ N + \pi^- \end{cases}$$
$$\Sigma^- \rightarrow N + \pi^-$$
$$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$$

ஆகும். Σ^0 ஹைப்பரானின் சிதைவானது மென்செயலெதிர்ச் செயலைவிட ஏறத்தாழ 10^{12} மடங்கு வலிமை வாய்ந்த மின்காந்த செயலெதிர்ச் செயலாதலால் அது Σ^+ அல்லது Σ^--ன் சிதைவை விட மிகவும் விரைவாக உள்ளது.

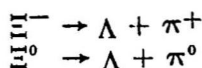
Ξ ஹைப்பரான் Λ ஹைப்பரானைவிட 205 Mev எடைமிக்கதாயுள்ளது. அது எதிர்மின்னூட்டங் கொண்டோ அல்லது மின்னூட்டமற்றோ இருக்கலாம். பதிவு செய்யப்பட்ட சிதைவு முறைகள்





படம் 16-6

திரவ ஹைடிரஜன் குமிழ்க்கலத்தில் லாம்டா ஹைப்பரான் மற்றும் K மெஸானின் இணைந்த விளைவாக்கம், 1 Bev π^- ஒன்று பீவாட்ரானி லிருந்து குமிழ்க்கலத்தினுள் நுழைந்து ஒரு புரோட்டானைத்தாக்கி Λ மற்றும் K^0-ஐ விளைவிக்கிறது. (நன்றி : லாரென்ஸ் கதிர்வீச்சு ஆய்வுக்கூடத்தின் திரவ ஹைடிரஜன் குமிழ்க்கல குழு).



$$\Xi^{-} \rightarrow \Lambda + \pi^{+}$$
$$\Xi^{0} \rightarrow \Lambda + \pi^{0}$$

ஆகும்.

ஒவ்வொரு ஹைப்பரானுக்கும் எதிரின மின்னூட்டம் பெற்ற ஆன்டிஹைப்பரான் இருக்கவேண்டும். இதுவரை $\overline{\Lambda}$, $\overline{\Sigma}^{+}$, Σ^{0} ஆன்டிஹைப்பரான்களே பதிவு செய்யப்பட்டுள்ளன. எனினும், மற்றவையும் இருக்கவேண்டும் எனப் பௌதிகர்கள் உறுதியாக நம்புகிறார்கள். $\overline{P} + P \rightarrow \overline{\Lambda} + \Lambda$ என்ற வகையில் விளைவிக்கப் பட்ட $\overline{\Lambda}$ ஒன்றைப் படம் 16-7-ல் காணலாம்.

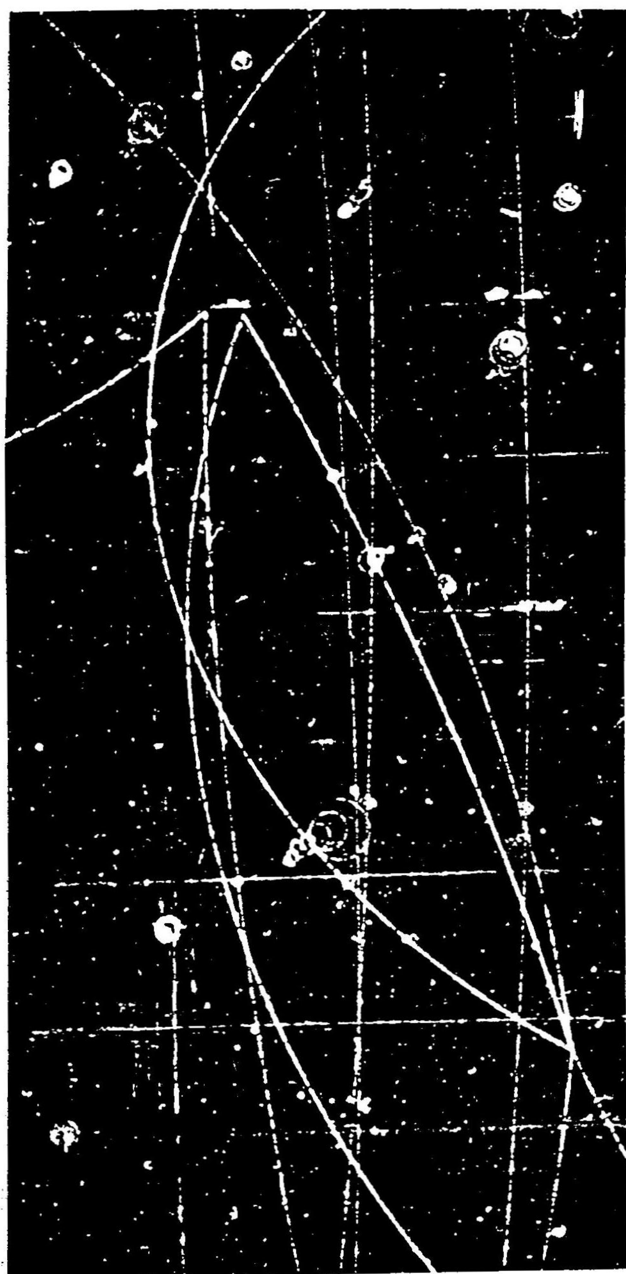
நிறைவளர் வரிசையில் இப்போதுள்ள (1961) அடிப்படைத் துகள்களாவன : ஃபோட்டான் γ ; லெப்டான்கள் ν, e, μ ; மெஸான்கள் π, K ; நியூக்ளியான்கள் P, N ; ஹைப்பரான்கள் Λ, Σ, Ξ. அவற்றின் வெவ்வேறு மின்னூட்டங்களையும் ஆன்டித் துகள்களையும் கருத்திற் கொள்வோமாயின் மொத்தம் 30 அடிப் படைத் துகள்களாகும். அவையாவும் பக்கம் 509-ல் உள்ள படம் 16-8-ல் அட்டவணைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன. துகள்கள் இடது புறத்திலுள்ளன ; அவற்றிற்குரிய ஆன்டித்துகள்கள் வலது புறத்தில் 'பிரதிபலிக்கப்பட்டு' உள்ளன. இது சற்று வசதியான அமைப்பு முறை என்பதைப் பிரிவு 16-6-ல் காணலாம். பௌதிகத்தை ஒருவர் ஆடியில் நோக்குவராயின் துகள்கள் யாவும் அவற்றின் ஆன்டித்துகள்களாக மாற்றப்பட்டிருப்பதைக் காண்பார். இந்தப் புதிர் குறிப்புரை (criptic remark) அடுத்த பிரிவில் விளக்கப்படும்.

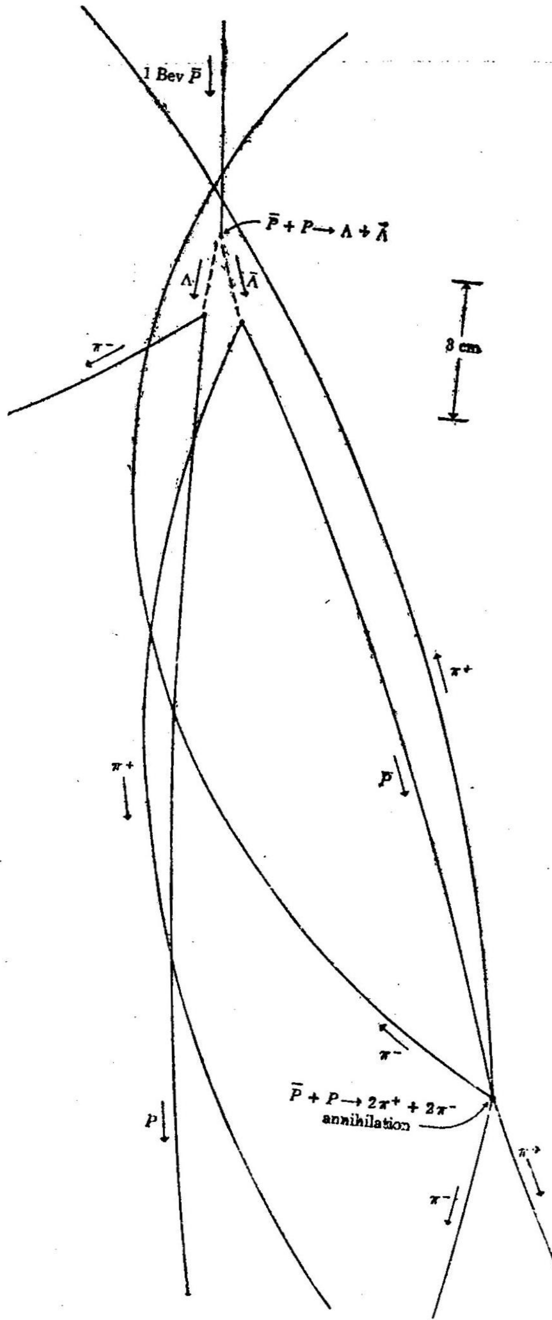
16-6 ஒப்புமை அழிவு (Non conservation of parity)

''பூசாய் முகம்பார்க்கும் கண்ணாடி உலகில் வாழ விரும்புகிறாயா ? அங்கு உனக்குப் பால் கிடைக்குமோ என்னவோ ? அந்தப்பால் இனிக்குமோ என்னவோ ?''

ஆலிஸ்.

லீவிஸ் கேரோல் (Lewis Carroll) கூறியது சரியே என்பதை இப்பகுதியில் அறிவோம். முகம் பார்க்கும் கண்ணாடி உலகில் உள்ள பால் நஞ்சற்றதாக இருக்கலாம் ; ஆனால் செரிக்காது. மேலும், மென்செயலெதிர்ச் செயல் மட்டுமின்றி பிரிவு 16-4-ல் ஆராயப்பட்ட ஆன்டித் துகள் சரிசீரமைவுக்கும் முரண்படுவதை நாம் காண்போம். ஒப்புமை அழிவின்மைவிதி என்பது இயல்பு மாறா பிரதிபலிப்பு (reflection invariance) எனப்படும். சீரமைவுத் தத்துவத்தின் கணிதவியல் விதிமுறையாகும், பிரதிபலிப்பு மாறாமைத் தத்துவத்தின்படி எந்தவொரு பௌதிக நிகழ்ச்சியின்



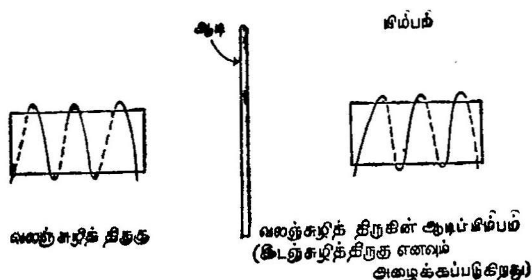


படம் 16-7

$\bar{P} + P \rightarrow \bar{\Lambda} + \Lambda$ என்ற முறையில் ஆன்டிலாம்டா (antilambda) ஒன்றின் விளைவாக்கம். ஆன்டிலாம்டா ஒரு π^+ ஆகவும் ஆன்டிப்புரோட்டானகவும் சிதைவுறுகிறது. அடுத்து அந்த ஆண்டிப்புரோட்டான் ஒய்வு பெற்று திரவஹைடிரஜனிலுள்ள ஒரு புரோட்டானை அழிக்கிறது (நன்றி: லாரென்ஸ் கதிர்வீச்சு ஆய்வுக் கூடத்தின் 72 அங். குமிழ்க்கலக் குழு).

ஆடிப் பிம்பமும் அப்பௌதிக நிகழ்ச்சியைப் போன்றே உண்மை யாகும். ஒப்புமைத் தத்துவத்தின்படி கண்ணுடியினுள் பார்த்துக் கொண்டிருப்பதை அறியாத ஒருவர் எந்தவொரு பௌதிகச் சோதனையையும் காண்பாராயின் சோதனையின் முடிவுகளிலிருந்து அவர் கண்ணுடியினுள் பார்த்துக் கொண்டிருக்கிறுர் என்று கூறுவதற்குரிய வழியேதும் இல்லை. இதையே வேறு வகையிலும் கூறலாம்: அதாவது இடக்கை வகை ஆயத் தொலைவு அமைப்பை (left handed coordinate system)ப் பயன்படுத்தினுலும் வலக்கை வகை ஆயத்தொலைவு அமைப்பைப் பயன்படுத்தினுலும் அடிப் படைப் பௌதிக விதிகள் யாவும் அதே கணிதவியல் வடிவைப் பெற்றிருக்கவேண்டும், ஒப்புமை அழிவின்மையின் விளைவு என்ன வெனில் மறதிப் பேராசிரியர் ஒருவர் சோதனைகளின்மூலம் அவரது வலது கையை நிர்ணயிக்க முடியாது. அவரது இதயம் அவரது உடலின் எந்தப் பக்கத்தில் உள்ளது என்பதை நிர்ணயிப்பது அவருக்கு ஏமாற்றத்தை அளிக்கும். இது, ''இடது'' எனக் குறிப் பிட்ட கையுறையை அவருக்கு அளிப்பதற்குச் சமமாகும்.

உண்மையில் அவரது உடம்பிலுள்ள மூலக்கூறுகளும், ஒப்புமை அழிவின்மையைப் பொறுத்தவரை புவியிலுள்ள உயிரினங்கள் யாவும் மேற்கூறப்பட்ட வகையில் குறியிடப்பட்ட கையுறைக்குச் சமமாகும் (இயல் 14-ன் முகப்புப் படத்தை நோக்குக). உயிரியல் முறையில் விளைவிக்கப்பட்ட புரோட்டீன் மூலக்கூறுகள் (முற்றிலும் இடஞ்சுழித் திருகுவகை அமைப்பைக் கொண்ட) அமினோ அமிலங் களிலிருந்து அமைக்கப்பட்டுள்ளன. [பெனிசிலின் போன்ற நோய் உயிர் எதிரிகள் (antibiotics) மட்டும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வலஞ்சுழி அமினோ அமிலங்களைக் கொண்டுள்ளன. அவற்றின் இந்த அமைப்பே அவை பாக்டீரியாக்களுக்குத் தீங்கு விளைவிப்ப

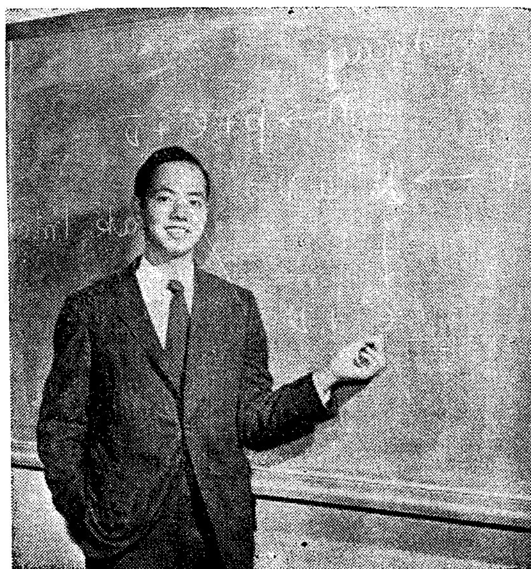


படம் 16-9
வலஞ்சுழித் திருகும் அதன் ஆடிப் பிம்பமும்.

	வகை	ஓய்நிறை	சுழற்சி	துகள்கள் −	துகள்கள் 0	துகள்கள் +	புத்தியல்பு	எதிர்த் துகள்கள் புத்தியல்பு	எதிர்த் துகள்கள் −	எதிர்த் துகள்கள் 0	எதிர்த் துகள்கள் +
கனத்துகள்கள்	க்ஸை	2586	?	Ξ^-	Ξ^0		-2	+2		$\overline{\Xi^0}$	$\overline{\Xi^-}$
	சிக்மா	2385	$\frac{1}{2}$	Σ^-	Σ^0	Σ^+	-1	+1	$\overline{\Sigma^+}$	$\overline{\Sigma^0}$	$\overline{\Sigma^-}$
	லாம்டா	2182	$\frac{1}{2}$		Λ		-1	+1		$\overline{\Lambda^0}$	
	நியூக்ளியான்	1837	$\frac{1}{2}$		N	Ⓟ	0	0	$\overline{P}$	$\overline{N}$	
மெஸான்கள்	K மெஸான்	966	0		K^0	K^+	+1	-1	K^-	$\overline{K^0}$	
	பயான்	273	0		π^0	π^+	0	0	π^-	π^0	
லெப்டான்கள்	மியூயான்	207	$\frac{1}{2}$	μ^-							μ^+
	எலெக்ட்ரான்	1	$\frac{1}{2}$	e^-	ν					$\bar{\nu}$	e^+
	நியூட்ரினோ	0	$\frac{1}{2}$								
	∴போட்டான்	0	1		γ					γ	

படம் 16-8

தற்குக் காரணமாகக் கருதப்படுவதோடு அவை நோய் உயிர் எதிரிகளாகப் பயன்படுவதற்கும் காரணமாகிறது]. மாறாக, வேதியியல் வல்லுநர்களால் வலஞ்சுழிப் புரோட்டீன்களைச் செயற்கை முறையில் விளைவிக்க முடியும். நாம் எதிர்பார்ப்பது போலவே அவை இயற்கையில் கிடைக்கக்கூடிய புரோட்டீன்களைப் போன்ற அதே வேதியியல் பண்புகளைக் கொண்டுள்ளன. ஒரே ஒரு வேறுபாடு உண்டெனில் அது, ஒன்று மற்றதின் ஆடிப்பிம்பமாகும் (படம் 16-9). புவியில் உயிரியலானது எப்பொழுதும் ஒரு குறிப்பிட்ட சீரமைவு வகை மூலக்கூறுகளை மட்டும் விளைவிக்கும் போது வேதியியல் வல்லுநர்களால் விளைவிக்கப்படும் அதே மூலக் கூறுகள் 50 சதவீதம் வலஞ்சுழி அமைப்பையும் 50 சதவீதம் இடஞ்சுழி அமைப்பையும் கொண்டிருப்பது புதிராகத் தோன்றக் கூடும். இதற்கான ஒரு விளக்கத்தைப் பின்வருமாறு கூறலாம்: புவியின்மீது தொடக்கத்தில் இடஞ்சுழி, வலஞ்சுழி ஆகிய இருவகை உயிரினங்களும் தோன்றியிருக்கக் கூடும். அந்நிலையில் ஒருவகைப் பிராணிகளும் தாவரங்களும் மற்றவகைப் பிராணிகளுக்கும் தாவரங்களுக்கும் நச்சுத்தன்மையுடையதாய் அமைந்திருக்கக் கூடும். இறுதியில் உயிர் வாழ்வதற்கான போட்டியில் அவற்றுள்ஒரு வகை மற்றதை வென்று நிலைத்திருக்கக் கூடும்.



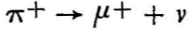
படம் 16-10

C. N. யாங் என்பவரின் துணையுடன் T. D. லீ செய்த ஆராய்ச்சி ஒப்புமை அழிவின்மையின் அழிவுக்கு வழிகோலியது. இப்படம் பேராசிரியர் லீயின் உண்மையான பிம்பமா? ஆடிப் பிம்பமா?

விழிப்புள்ள மாணவனுக்கு ஒரு திறச் சோதனையாகப் படம் 16-10-ல் உயர் ஆராய்ச்சிக்கான பிரின்ஸ்ட்டன் கழகத்தை (Princton Institute of Advanced study)ச் சேர்ந்த T. D. லீ (T. D. Lee) என்பாரின் ஒளிப் படம் (photograph) அளிக்கப்பட்டுள்ளது. இப்படம் ஆடியை நோக்கி எடுக்கப்பட்டதா இல்லையா என்பதை உறுதியாகக் கூறுவதற்கு வழியேதும் உள்ளதா ? முதல் நோக்கில் இப்படம் டாக்டர் லீயின் ஆடிப்பிம்பம் என ஒருவர் கருதலாம். கரும்பலகையில் உள்ள குறியீடுகள் இடவலம் மாறித் தோன்றுகின்றன ; லீ, அவரது இடக்கையைப் பயன்படுத்துவது போல் தோன்றுகிறது. விழிப்புள்ள மாணவன், இப்படத்தில் ஏதோ சூழ்ச்சியிருப்பதாக—அதாவது லீ வேண்டுமென்றே குறியீடுகளை இடவலமாக எழுதியிருப்பதாக ஐயுறலாம். படத்தைக் கவனமாக ஆராயும்பொழுது லீயின் கோட்டுப் பொத்தான்கள் அவரது வலப்புறத்தில் இருப்பது தெரியவருகிறது. ஆண்களுக்கு இடப்புறத்திலும் பொத்தான்கள் இருக்கும் என்ற உறுதியான உலகியல் மரபின் அடிப்படையில் விழிப்புள்ள ஒரு மாணவன் படம் 16-19, T. D. லீயின் உண்மையான பிம்பம் என்ற முடிவுச்கு வரலாம். பொத்தான்களை இடப்புறத்திலும் அவற்றிற்குரிய துளைகளை வலப்புறத்திலும் அமைத்து வழக்கத்திற்கு மாறான ஒரு கோட்டைத் தைக்குமளவிற்கு நாம் செல்லவில்லை.

இந்நூலுக்கு அப்பாற்பட்ட சில காரணங்களின் பயனாய் ஒப்புமை அழிவின்மையானது K மெஸான் ஒன்று இரு பயான் சிதைவு வகை (two pion decay modes) முப்பயான் சிதைவு வகை (three pion decay modes) ஆகிய இருவகைகளிலும் ஒருங்கே சிதைவுறுவதை ஒருங்கே அனுமதிப்பதில்லை. K மெஸான் மேற்கூறப்பட்ட இருவகைகளிலுமில்லாமல் அவற்றுள் ஏதாவதொரு வகையிலேயே சிதைவுற அனுமதிக்கப்படுகிறது. ஆனால் சோதனைவாயிலாக K மெஸான் இரு முறைகளிலும் சிதைவுறுவது காணப்பட்டுள்ளது. இந்த முரண்பாடானது 1956-ல் T. D. லீ, C. N. யாங் (C. N. Yang) ஆகிய இருவரையும் இயற்கையில் வலது, இடது என்ற இரண்டு சம அளவில் அமையவேண்டும் என்ற தன் விளக்க உண்மையை (self evident truth)க் கடுமையாக ஐயுறச் செய்தது. மென்செயலெதிர்ச் செயல்கள், ஒப்புமை அழிவின்மை என்னும் புனிதத் தத்துவத்திற்கு முரண்படவே செய்கின்றன என லீயும் யாங்கும் எடுத்துரைத்தனர். அவர்களின் புனைவுகோளைச் சரிபார்ப்பதற்கான சில குறிப்பிட்ட சோதனைகளையும் அவர்கள் எடுத்துரைத்தனர். அச்சோதனைகளுள் ஒன்றான π^+-ன்

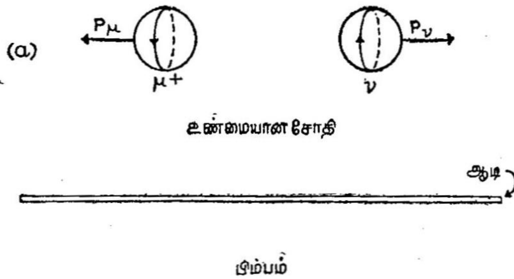
சிதைவை நாம் இப்பொழுது விரிவாக ஆராய்வோம். அது மென் செயலெதிர்ச் செயல்களின் விளைவாய் நிகழ்கிறது. அச் சிதைவு



$$\pi^{+} \rightarrow \mu^{+} + \nu$$

ஆகும். சிதைவு மியூயான்களும் நியூட்ரினோக்களும் அவற்றின் இயக்கத் திசையின் வழியே முன்மதிக்கப்பட்ட சுழற்சித் திசையைப் பெற்றிருக்கக்கூடும் என லீயும், யாங்கும் எடுத்துரைத்தனர்.

இது உண்மையாயின் இயல்புமாறு பிரதிபலிப்பு மீறப்படும் என இப்பொழுது நிறுவ முற்படுவோம். ஒரு துகளின் சுழற்சியை அதன் நடுவரைத் தளத்தில் (equatorial plane) அதன் இயக்கமாகக் குறிப்பிடுவதாகக் கொள்வோம். அம்முறையில், துகள்கள் சுழலும் கோளங்களாகக் குறிக்கப்படும். லீயும் யாங்கும் π^{+}-ன் சிதைவு படம் 16-11 (a)-ல் உள்ளதுபோல் தோன்றும் என எடுத்துரைத்தனர். μ^{+}, ν ஆகியவற்றின் சுழற்சிகளின் தொகுபயன்





படம் 16-11 (*a*)

(*a*) π^{+}-ன் சிதைவு. (*b*) π^{+}-ன் சிதைவின் ஆடிப் பிம்பம்.

தொடக்கத் துகளான பயானின் சுழற்சியான சுழிக்குச் சமமாக வேண்டுமாதலால் அவை படத்திலுள்ளதுபோல் எதிர்த்திசைகளில் சுழலவேண்டும். படம் 16-11 (*b*), படம் 16-11 (*a*)-ல் உள்ள சிதைவுத் துகள்களின் ஆடிப்பிம்பமாகும். ஆடியில் கோளங்கள் எதிர்போக்காகச் சுழல்வதுபோல் தோன்றுவதைக் காணலாம். μ^{+} அல்லது ν-ன் நடுவரைக் கோட்டின் ஒரு 'பகுதி' உண்மைத் தோற்றமான (*a*)-ல் ஒரு இடஞ்சுழித் திருகையும்

ஆடிப்பிம்பமான (*b*)-ல் ஒரு வலஞ்சுழித் திருகையும் அமைக்கும். (*a*)-ல் காட்டப்பட்டுள்ள நிலை முதன்முதலில் 1957-ல் சைக்ளோட்ரானுல் விளைவிக்கப்பட்ட மியூயான்களைக் கொண்டு பதிவிடப் பட்டது. படம் (*b*)-ல் காட்டப்பட்டுள்ள ஆடிப்பிம்பச் சோதனை ஒருபோதும் இயற்கையில் நிகழ்வதில்லை. இவ்வாருக, ஒப்புமை அழிவின்மை விதி ஐயத்திற்கிடமின்றி மீறப்பட்டுள்ளது. நியூட்ரினேக்கள் எப்போதும் இடஞ்சுழற்சியுடனேயே வெளித்தோன்றுகின்றன. ஒப்புமை அழிவு ஆனது முதன்முதலாகக் கொலம்பியாப் பல்கலைக் கழகத்தைச் சேர்ந்த C. S. 2 (Wu) என்பவராலும் வாஷிங்டனில் படித்தரங்களின் தேசியக் கழகத்தைச் சேர்ந்த குழுவினராலும் செய்யப்பட்ட பீட்டாச் சிதைவுச் சோதனையில் காணப்பட்டது. நியூட்ரினேக்கள் எப்போதும் இடஞ்சுழற்சியையும் ஆன்டி நியூட்ரினேக்கள் எப்போதும் வலஞ்சுழற்சியையும் கொண்டுள்ளன என்பது இப்போது அறியப்பட்டுள்ளது.

அண்டவெளியானது வலஞ்சுழற்சியைவிட இடஞ் சுழற்சியை முன்மதிக்கிறது என்பதை நம்புவதென்பது மேலும் கடினமாக இருக்கிறது. எனினும், ஒவ்வொருவரும் அதனைத் தயக்கமின்றி உடனே உண்மையென ஏற்றுக்கொள்ளுமளவிற்கு அதற்கான சான்று எளிதாகவும் தெளிவாகவும் உள்ளது. இவ்வாருக, முற்றிலும் தன்னை மறந்த மறதிப் பேராசிரியர் அவரது இடது கையைக் கண்டு கொள்வதற்குச் செய்யவேண்டியதெல்லாம் π^+-ன் சிதைவிலிருந்து வரும் μ^+ அல்லது நியூட்ரினேவைக் காண்பதொன்றேயாகும். இது, ஐயப்பாட்டிற்கிடமில்லாத, சரி சீரமைவற்ற ஒரு இயற்கை விதியாகும். இதனைப்பற்றிய இத்



(*a*) π^+-ன் சிதைவின் மின்னூட்ட மாற்றம்.



(*b*) சோதனையில் கண்ட π^--ன் சிதைவு.

படம் 16-12

(*a*) படம் துகள்களை ஆன்டித் துகள்களாக மாற்றியமைப்பதன் மூலம் π^+-ன் சிதைவிலிருந்து கிடைக்கப்பெற்றது. (*b*) சோதனையில் கிடைக்கப் பெற்ற விளைவு.

தகைய ஆர்வத்திற்கு ஒரு காரணமென்னவெனில் அடிப்படைச் சீரமைவுத் தத்துவம் (Basic symmetry principle) ஒன்று மீறப் படுவது இதுவே முதல் முறையாகும்.

ஆன்டித் துகள் சீரமைவு மீறப்படுதல்

படம் 16-11 *a*-ஐ மின்னூட்ட மாற்றிணைவுக்கு உட்படுத் துவோமாயின் படம் 16-12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்ற சிதைவைப் பெறுகிறோம். இது ஆன்டி நியூட்ரினோவை இடஞ் சுழற்சி யுற்றதாகச் செய்யும் என்பதைக் காணலாம். ஆனல் ஆன்டி நியூட்ரினோ எப்பொழுதும் படம் 16-12*b*-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போல் வலஞ் சுழற்சியுடையதாகவே உள்ளது என்பதைச் சோதனை மூலம் நாமறிவோம். உண்மையில் π^--ன் சிதைவு எவ்வா றிருக்கும் என்பதைப் படம் 16-12*b* காட்டுகிறது. இவ்வாறாக, துகள்களை அவற்றிற்குரிய ஆன்டித் துகள்களாக மாற்றும்பொழுது இயற்கையில் கிடைக்கப்பெறாத முடிவுகள் முன்னுரைக்கப்படு கின்றன என்பதை இங்குக் காணலாம். இது ஆன்டித் துகள் சீரமைவு மீறப்படுவதற்கான தெளிவான ஓர் எடுத்துக் காட்டாகும்.

π^+-ன் சிதைவை (படம் 16-11*a*) ஆடி ஒன்றில் பிரதிபலித்துத் துகள்களை அவற்றின் ஆன்டித் துகள்களாக மாற்றவும் செய்வோ மாயின் π^--ன் சிதைவுக்கான சரியான விடை (படம் 16-12*b*)யை நாம் பெறுகிறோம். இவ்வாறாக, ஒரு முழுச்சீரமைவு அழியாமல் பேணப்படுகிறது. மிகத் தொலைவிலுள்ள நட்சத்திர மண்டலம் ஆன்டிப் பொருளினல் ஆக்கப்பட்டுள்ளதா இல்லையா என அறிய மாட்டோமாயினும் அங்கு μ^+, μ^- ஆகியவற்றை வேறுபடுத்திக் காண்பதற்குரிய வழியேதும் இலலாததாலும் அங்குள்ள மறதிப் பேராசிரியர் ஒருவருக்கு இன்னமும் அவரது வலது கையைக் காண்பதற்கான வழியெதுவும் இல்லை. மறுதலையாக, அவரது வலப்புறத்தை இடப்புறத்திலிருந்து பிரித்தறிய முடியாத வரைக்கும் அவரது அணுக்கள் எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள் ளனவா அல்லது பாஸிட்ரானைக் கொண்டுள்ளனவா என்பதை அறிவதற்கும் வழியேதும் இல்லை. முழுச் சீரமைவைப் பௌதி கர்கள் CP மாற்றமின்மை என அழைக்கிறார்கள்; இன்னமும் அது சரிபார்க்கப்படுகிறது. இந்நூல் எழுதப்படும் காலத்தில் (1960) மென் செயலெதிர்ச் செயல்கள் CP மாற்றமின்மைக்கு உட்படவே செய்வதுபோல் காணப்படுகின்றன. இத்தகைய முழுச் சீரமைவு இருக்கக் கூடியதானது மெய்யுணர்வு வகையில் (Philosophically) நமக்கு மன நிறைவளிப்பதோடு ஒப்புமை அழிவின்மை விதி மற்றும் ஆன்டித் துகள் சீரமைவு ஆகியவை இல்லாமலிருப்பதை ஏற்றுக்கொள்வதை எளிதாக்கவும் செய்கிறது.

16-7 அழிவின்மை விதிகளின் தொகுப்புரை

உண்மை என்ன?

மேற்கூறப்பட்ட இரு அழிவின்மை விதிகள் அண்மையில் திடீரெனப் பொய்த்துப்போனதானது ஏனைய புனித பௌதிக விதிகளும் கூடச் சரியில்லாமல் இருக்கலாம் என பௌதிகர்களுக்கும் மெய்யுணர்விகளுக்கும் மேலும் ஒரு எச்சரிக்கையாக அமைகிறது. காட்டாக, ஆற்றல் அழிவின்மை விதி உண்மை என்பதை ஐயத்திற்கிடமின்றி ஒருபோதும் நிறுவ முடியாது. எனினும் இவ்விதிக்கான தெளிவான ஒரு முரண்பாடேனும் காணப்படின் அதுவே தற்போதைய வடிவத்தில் அமைந்த ஆற்றல் அழிவின்மை விதி சரியல்ல என்பதற்கான முழுமையான சான்றாக அமைந்துவிடும். இந்த எச்சரிக்கை அழிவின்மை விதிகளின் இறுதி பட்டியலை அளிக்கிறோம். பட்டியல்முழுமைப் பெறுவதற்காக இந் நூலில் கூறப்படாத சில விதிகளும் பட்டியலில் இடம்பெற்றுள்ளன.

1. மொத்த ஆற்றல் அழிவின்மை. ஓய்வு நிறையையும் உள்ளடக்கவேண்டும்.

2. மொத்த நேர்கோட்டு உந்த அழிவின்மை.

3. மொத்த கோண உந்த அழிவின்மை.

4. மின்னூட்ட அழிவின்மை.

5. கனத் துகள்களின் அழிவின்மை. நியூக்ளியான்கள் மற்றும் ஹைப்பரான்களின் கனத் துகள் எண் $+1$. அவற்றின் ஆன்டித் துகள்களின் கனத் துகள் எண் -1. இவ்விதியானது, மொத்த கனத் துகள் எண் மாறாமலிருக்கவேண்டும் எனக் கூறுகிறது.

6. லெப்டான்களின் அழிவின்மை. இவ்விதியை மேற்கூறப்பட்ட விதியின், இலேசானத் துகள்களுக்கான எதிரிணையாகக் கருதலாம். ν, $e-$, $\mu-$ ஆகிய லெப்டான்கள் லெப்டான் எண் $1+$-ஐயும் அவற்றின் ஆன்டித் துகள்கள் லெப்டான் எண் -1-ஐயும் கொண்டுள்ளன. இவ்விதியின்படி எந்தவொரு செயலெதிர்ச் செயலுக்கு முன்னும் பின்னும் மொத்த லெப்டான் எண் மாறாமலிருக்கவேண்டும்.

7. மின்னூட்டம் சாரா மை (Charge independence) (ஐஸோடோப்பியல் சுழற்சி மாறாமை எனவும் அழைக்கப்படுகிறது). இவ்விதி வன்செயலெதிர்ச் செயல்களுக்கு மட்டுமே பொருந்துகிறது. மின்காந்தச் செயலெதிர்ச்செயல்களின் பயனாய் அதன்

முன்னுரைப்புகள் ஏறத்தாழ 1% பிழைக்கு உட்பட்டு இருக்கின்றன. புரோட்டான் - புரோட்டான் விசையானது புரோட்டான் - நியூட்ரான் விசையைப் போன்றே இருத்தல்வேண்டும் என்பதுபோன்றே முன்னுரைப்புகளே மின்னூட்டம் சாராமை விதி கூறுகிறது.

8. புத்தியல்பு அழிவின்மை (புத்தியல்புத் துகள்களின் ஹைப்பரான்களுடன் இணைந்த விளைவாக்கம்). இது வன் மற்றும் மின்காந்தச் செயலெதிர்ச் செயல்கள் யாவற்றிற்கும் பொருந்துகிறது. ஆனால் மென்செயலெதிர்ச் செயல்களுக்குப் பொருந்துவதில்லை.

9. ஆன்டித் துகள் சீரமைவு. இவ் விதியும் வன் மற்றும் மின்காந்தச் செயலெதிர்ச் செயல்கள் யாவற்றிற்கும் பொருந்துகிறதேயொழிய மென்செயலெதிர்ச் செயல்களுக்கல்ல.

10. ஒப்புமை அழிவின்மை. இவ் விதியும் மென்செயலெதிர்ச் செயல்களையொழிந்த வன்மற்றும் மின்காந்தச் செயலெதிர்ச் செயல்கள் யாவற்றிற்கும் பொருந்துகிறது.

11. ஆன்டித் துகள்-ஒப்புமை முழுச் சீரமைவு (CP மாற்றமின்மை). இவ் விதியின்படி, எந்தவொரு பௌதிகச் சோதனையின் ஆடிப் பிம்பத்திலுள்ள துகள்கள் யாவும் அவற்றின் ஆன்டித் துகள்களாக மாற்றப்படின் அப் புதிய சோதனையும் நடைமுறையில் காணப்படும் ஒரு சோதனையாக அமையும். இவ் விதி எல்லா செயலெதிர்ச் செயல்களுக்கும் பொருந்துவதாக நம்பப்படுகிறது.

16-8 எதிர்காலப் பிரசினைகள்

பிரசினைகள் தொடங்கிவிட்டன

30 அடிப்படைத் துகள்களைப் பற்றி நாம் உரைக்கத் தொடங்கும்போது 'அடிப்படை' என்ற அந்த சொல்லைப் பயன்படுத்துவதென்பது பொருத்தமற்றதாகத் தொடங்குகிறது. உண்மையில் இந்த எண்ணிக்கையான 30 மிகைப்படுத்தப்பட்டதாகும். ஃபோட்டான், நியூட்ரினோ, எலெக்ட்ரான், மியூயான், பயான், *K* மெஸான், நியூக்ளியான், லாம்டா, சிக்மா, க்ஸை ஆகிய வேறுபட்ட 10 வகைத் துகள்களை அடிப்படையாகக் கொள்வது அதிகப் பொருத்தமுள்ளதாகத் தோன்றுகிறது. உண்மையிலேயே அடிப்படைத் தன்மை வாய்ந்த துகள்களின் எண்ணிக்கைக் குறையக்கூடும் என்பதே எதிர்காலத்திற்கேற்ற ஒரு முன்னுரைப்பு

ஆகும். இந்த அடிப்படைத் துகள்கள் யாவும் தங்கள் விருப்பப்படி (அழிவின்மை விதிகளுக்குட்பட்டு) ஒன்றுக்கொன்று மாறக்கூடும் என்ற உண்மையானது இந்த 10 துகள்களும் வெவ்வேறு குவாண்டம் நிலைகளாயமைந்த சிறந்த புலம் ஒன்று இருக்கக்கூடும் என்ற நம்பிக்கையைத் தோற்றுவிக்கிறது. அத்தகைய சிறந்த ஒன்றுபட்ட கொள்கையானது இப்போது இருக்கக்கூடிய அடிப் படைத் துகள்களின் நிறைகளை முன்னுரைக்கவேண்டும். மேலும், அத்தகைய மூலாதாரமான கொள்கையின் உதவியால் எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தையும் ஏனைய பௌதிக மாறிலிகளையும் நாம் மதிப்பிட முடியவேண்டும். தற்போது c, e, h, m_e, m_P போன்ற மாறிலிகள் ஒன்றுக்கொன்று முற்றிலும் தனிப்பட்டவை யாகும். பொதுவாக, அடிப்படை உண்மையை நெருங்க நெருங்க இந்த மாறிலிகளுள் சிலவற்றை மற்றவற்றின் அடிப்படையில் கணக்கிடக்கூடிய ஆற்றலை நாம் பெறவேண்டும். காட்டாக, ஹைடிரஜன் அணுவின் பிணைப்பாற்றலை இப்பொழுது e, h, m ஆகியவற்றின் மதிப்புக்களிலிருந்து மதிப்பிட முடியும். அண்மையில் படைக்கப்பட்ட அனைத்தின ஃபெர்மி செயலெதிர்ச் செயலானது நியூட்ரானின் ஆயுட்காலத்திலிருந்து மியூயான் ஆயுட்காலத்தைக் கணக்கிட நமக்கு உதவுகிறது என்பது மற்றொரு எடுத்துக்காட்டாகும்.

இந்த மூலாதாரக் கொள்கையானது எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தை (அல்லது மின்காந்தச் செயலெதிர்ச் செயலை)க் கணக்கிடுவதற்கு வழி கூறுவதோடு வன்-, மென்-, ஈர்ப்பியல் செயலெதிர்ச் செயல்களுக்கும் விளக்கங் கூறவல்லதாய் அமைய வேண்டும். ஈர்ப்பியல் செயலெதிர்ச் செயலானது மென்செய லெதிர்ச் செயலையும் விட வலிமை குறைந்ததாக இருக்கிறது. உண்மையில், மென்செயலெதிர்ச் செயலானது வன்செயலெதிர்ச் செயல்களை விட எவ்வளவு வலிமை குறைந்துள்ளதோ அந்த அளவுக்கு ஈர்ப்பியல் செயலெதிர்ச் செயலும் மென் செயலெதிர்ச் செயலை விட வலிமை குறைந்ததாயுள்ளது. இது முற்றிலும் எதிர்பாராததாய் இருக்கலாம். நியூட்ரீனோக்களின் அடிப் படையில் ஈர்ப்பு விசையை விளக்குவதற்காகச் செய்யப்பட்ட முயற்சிகள் பயனளிக்கவில்லை. ஒருவேளை இன்றில்லாவிட்டாலும் ஏதோ ஒருநாள் தொடர்பற்றதெனத் தோன்றும் மற்ற நிகழ்ச்சி களின் அடிப்படையில் ஈர்ப்பு விசை விளக்கப்படும். அண்டத்தின் தோற்றம், அளவு மற்றும் மலர்ச்சி ஆகியவை தீர்வுகாணப்படாத ஏனைய பிரசினைகளாகும். பருப்பொருளானது வெறுமையிலிருந்து உருவாக்கப்படுகிறதா? சாதாரணப் பொருளால் ஆக்கப்பட்ட நட்சத்திர மண்டலங்களைப்போல் ஆன்டிப் பொருளால் ஆக்கப் ட்ட அத்தனை நட்சந்திர மண்ட லங்கள் உள்ளனவா?

அரிஸ்டாட்டில் காலத்தில் நெருப்பு, நீர், காற்று, நிலம் ஆகிய நான்கு அடிப்படை மூலங்களின் உதவியால் யாவும் விளக்கப் பட்டன. பௌதிக உலகைப்பற்றிய தற்போதைய நமது அறிவு அக்காலத்து அறிவினின்றும் மிகுந்த அளவுக்கு முன்னேறியுள்ளது. இப்பொழுது குவாண்டம் மின்விசையியல் அடிப்படையில் சாதாரண பருப்பொருளின் அமைப்பிற்கான முழுமையானதும் மனநிறைவு அளிப்பதுமான விளக்கத்தைப் பெற்றுள்ளோம். உண்மையிலேயே அடிப்படைத் தன்மை வாய்ந்தவை என நாம் நம்பும் எண்ணற்ற அடிப்படைத் துகள்களைப்பற்றியும் அவற்றின் செயலெதிர்ச் செயல்கள் பற்றியும் மேல்நோக்காகவே ஆராய்ந்து கொண்டுள்ளோம்.

கணக்குகள்

1. ஆன்டிநியூட்ரானின் ஆன்டித் துகள் என்ன ?

2. ஆன்டிநியூட்ரானின் அரை ஆயுள் என்ன? சிதைவு விளைபொருட்கள் யாவை ?

3. பின்வரும் சிதைவு முறைகள் விலக்கப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு சிதைவு முறையும் முரண்படக்கூடிய அழிவின்மை விதிகளைக் கூறுக.

$\Lambda \rightarrow \pi^+ + \pi^-$
$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$
$N \rightarrow e^- + P + \bar{\nu}$
$P \rightarrow N + e^+ + \nu$
$N \rightarrow e^- + e^+ + \nu$

4. $\overline{\Sigma^+}$-ன் மின்னூட்டம் என்ன ?

5. U^{238}-ன் ஆல்பாச் சிதைவைத் தொடர்ந்து அடுத்தடுத்த இரு பீட்டா (e^-)ச் சிதைவுகள் நிகழ்கின்றன. இறுதிச் சிதைவி னின்றும் கிடைக்கக்கூடிய தனிமத்தின் Z, A ஆகியவை யாவை ?

6. Pu^{239} $(Z = 94)$ அணுக்கரு ஒன்று ஆல்ஃபாச்சிதைவுறு கிறது, மகள் அணு பீட்டாச் சிதைவு(e^-)றுகிறது. அது தரும் பேர்த்தி அணுக்கருவும் (grand daughter nucleus) பீட்டாச் சிதைவு(e^-)றுகிறது, இப்போது கிடைக்கும் கொள்ளுப்பேர்த்தி (great grand daughter) அணுக்கரு நியூட்ரான்களால் தாக்கப்படும் பொழுது நான்கு நியூட்ரான்களை உட்கவருகிறது. இறுதிப் பொருளின் Z-ம், A-ம் யாவை ?

7. ஆன்டிப் புரோட்டான் ஒன்று ஓய்வு பெற்று புரோட்டான் ஒன்றுடன் அழிகிறது. அவையிரண்டும் சம ஆற்றலையுடைய மூன்று பயான்களை விளைவிக்கின்றன. ஒவ்வொரு பயானின் இயக்க ஆற்றல் எத்தனை Mev-க்கள் ?

8. பாஸிட்ரானுடன் பிணைக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரானால் ஆக்கப்பட்ட ஒரு 'அணு' அவை அழியுமுன் மிகக் குறுகிய (ல 10^{-6}வி) காலத்திற்கு நிலைத்திருக்க முடியும். அத்தகைய அணு அமைப்பு பாஸிட்ரானியம் எனப்படும். பாஸிட்ரானியத்தின் மின்னூட்ட மாற்றிணைவு என்ன ?

9. படம் 16-4-ல் உள்ள அழிவு விளைபொருட்கள் யாவும் மேலும் செயலெதிர்ச் செயல்களுக்கு உட்படாமல் சிதைவுவறுதாகக் கருதுக. மின்னூட்டப் பயான்கள் மியூயான்களாகவும் அந்த மியூயான்கள் மேலும் சிதைவுறுவதாகவும் கருதுக. இறுதி விளைபொருட்கள் யாவும் e^-, e^+, ν, $\bar{\nu}$ மற்றும் ஃபோட்டான்களாக இருக்கும். அவை ஒவ்வொன்றிலும் எத்தனை இருக்கும் ?

10. தேய்ந்த கண்ணடித் திரை ஒன்றின்மீது வீழ்த்தப்பட்ட வலஞ்சுழித் திருகு ஒன்றின் பிம்பம் வலஞ்சுழித் திருகைப்போல் தோற்றமளிக்கிறது. திரையின் மறுபுறத்திலிருந்து நோக்கும் போது அது வலஞ்சுழித் திருகாகத் தோன்றுமா ? இடஞ்சுழித் திருகாகத் தோற்றமளிக்குமா ?

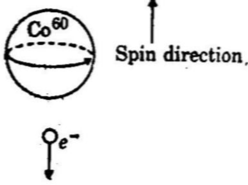
11. வலஞ்சுழித் திருகொன்று புரியிடப்பட்ட துளை ஒன்றினுள் திருகப்படுகிறது. துளையிலிருந்து நோக்கும்போது அது வலஞ்சுழித் திருகாகத் தோன்றுமா ? இடஞ்சுழித் திருகாகத் தோற்றமளிக்குமா ?

12. படம் 16-11 (a)-ல் ஆடியானது கிடைமட்டமாக இருப்பதற்குப் பதில் வலதுபுறத்தில் செங்குத்தாக இருப்பதாகக் கருதுக. அத்தகைய ஆடியில் பிம்பத்தின் படத்தை வரைக. பிம்பத்தில், μ^+ வலஞ்சுழியுடையதா, இடஞ்சுழியுடையதா ?

13. μ^- ஒன்று புரோட்டானால் பிடிக்கப்படும்பொழுது அவையிரண்டும் அனைத்தின ஃபெர்மி செயலெதிர்ச் செயலின் பயனாய் ஒரு நியூட்ரானாகவும் மற்றுமொரு துகளாகவும் மாறக்கூடும். அந்த இரண்டாவது துகள் என்ன ? (அது லெப்டான்கள் அழிவின்மை விதிக்கு உட்பட வேண்டும்).

14. $K^- + P \rightarrow \Sigma^- + \pi^+$-ன் குமிழ்க்கலப் படம் எப்படித் தோற்றமளிக்கும் என்பதனைப் படம் வரைந்து காட்டுக. K^- ஓய்வு பெறுகிறது என்றும் Σ^- அதன் இயக்கத்தின்போது சிதைவுறுகிறது என்றும் கருதுக.

15. Co 60 அணுக்கருக்களை அவற்றின் சுழற்சித் திசை மேல் நோக்கியிருக்குமாறு வரிசைப்படுத்தினுல் மேல்நோக்கிய திசையிலுள்ளதைவிடக் கீழ்நோக்கிய திசையில் அதிகமான பீட்டாக் கதிர்கள் காணப்படுகின்றன. இதன் ஆடிப்பிம்பத்தை வரைக.



(a) ஆடி கிடைத்தளத்திலிருக்கும்போது பிரதிபலிக்கப்பட்ட Co^{60}-ன் சுழற்சித் திசை என்ன? சுழற்சித் திசைக்குப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள அதே மரபைப் பயன் படுத்துக.

(b) ஆடி செங்குத்தாக இருக்கும்பொழுது பிரதிபலிக்கப்பட்ட Co^{60}-ன் சுழற்சித் திசை என்ன ?

(c) மேற்கூறப்பட்ட ஆடிப் பிம்பங்கள் ஒவ்வொன்றிலும் எலெக்ட்ரான் சிதைவானது சுழற்சித் திசையுடன் ஒரு போக்கு இணையாக உள்ளதா, எதிர்போக்கு இணையாக உள்ளதா எனக் கூறுக.

16. இடஞ்சுழி நேர்மின்னூட்ட மியூயான்கள் ஓய்வுபெறும் பொழுது அவற்றின் சிதைவுப் பாஸிட்ரான்கள் பெருமளவில் பின்னேக்கிய திசையில் வெளிப்படுகின்றன. சற்றும் பிறழாது நேராகப் பின்னேக்கிவரும் ஒரு பாஸிட்ரானையும் நேராக முன்னேக்கிச் செல்லும் ν, $\bar{\nu}$ ஆகியவற்றையும் கருதுக. பாஸிட்ரான் இடஞ்சுழியுடையதா, வலஞ்சுழியுடையதா?

17. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$ என்ற சிதைவில் நியூட்ரினே ஆற்றல் cP, மியூயான் இயக்க ஆற்றல் $(P^2/2M\mu)$ ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையை நிறைவேறுபாடு அளிக்கவேண்டும். P மற்றும் மியூயான் இயக்க ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

18. $\mu^- \rightarrow e^- + \nu + \bar{\nu}$ என்ற சிதைவில் பெரும் எலெக்ட்ரான் ஆற்றல் என்ன ? எலெக்ட்ரானின் உந்தம் $P = W/c$ என்னுமளவிற்கு அதனைச் சார்பியலாக (relativistic)-க் கொள்க.

அட்டவணைகள்

அட்டவணை I—பயனுறு மாற்றங்கள்

1 அங்குலம்	= 2.54 செ.மீ
1 மைல்	= 1.61 கி.மீ அல்லது 5280 அடி
1 மீட்டர்	= 39.37 அங்
1 மைல்/மணி	= 44.7 செ.மீ/வி
60 மைல்/மணி	= 88 அடி/வி
1 கி.கி	= 2.204 பவுண்டு
1 நியூட்டன்	= 10^5 டைன்கள்
1 ஜூல்	= 10^7 எர்குகள்
1 கேலரி	= 4.18 ஜூல்கள்
1 கூலம்	= 3×10^9 ஸ்டேட் கூலம்கள்
1 ஸ்டேட் வோல்ட்	= 300 வோல்ட்டுகள்
1 ev	= 1.6×10^{-12} எர்குகள்
1 Mev	= 1.6×10^{-6} எர்குகள்
1 A	= 10^{-8} செ.மீ.

அட்டவணை II—சில பௌதிக மாறிலிகள்

c = 3×10^{10} செ.மீ/வி, ஒளியின் வேகம்

e = 4.8×10^{-18} ஸ்டேட்கூலம், எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்

g = 980 செமீ/வி^{2}, புவிப்பரப்பில் ஈர்ப்புமுடுக்கம்

G = 6.67×10^{-8} செ.மீ^{3}/கி–வி^{2}, ஈர்ப்பியல் மாறிலி

h = 6.62×10^{-27} எர்க்-வி, ப்ளாங்க் மாறிலி

k = 1.38×10^{-16} எர்குகள்/^{0}C, போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி

m = 9.11×10^{-28} கி, எலெக்ட்ரானின் நிறை

M_P = 1.67×10^{-24} கி, புரோட்டானின் நிறை; $M_P/m = 1837$

mc^2 = 0.51 Mev, எலெக்ட்ரானின் ஓய்வு ஆற்றல்

M_Pc^2 = 938 Mev, புரோட்டானின் ஓய்வு ஆற்றல்

மற்ற நிறைகளுக்குப் படம் 16-3 பார்க்க

N_0 = 6.02×10^{23}, அவகெட்ரோ எண்

P_0 = 1.1×10^6 டைன்கள்/செ.மீ^{2}, வளிஅழுத்தம்

T = 0^0K = -273^0C மெய்ச்சுழி.

புவியின் விட்டம்	= 7918 மைல்
புவியிலிருந்து நிலவின் தொலைவு	= 240,000 மைல்
புவியிலிருந்து சூரியனின் தொலைவு	= 93 மில்லியன் மைல்

அட்டவணை III—தனிமங்கள்

தனிமம்	Element	குறியீடு	அணு எண்	சராசரி அணு நிறை
அமெரிக்கியம்	Americium	Am	95	[243]
அயர்ன் (இரும்பு)	Iron	Fe	26	55.87
அயோடின்	Iodine	I	53	126.94
அலுமினியம்	Aluminium	Al	13	26.99
ஆக்டீனியம்	Actinium	Ac	89	227
ஆக்ஸிஜன்	Oxygen	O	8	16.0044
ஆர்கான்	Argon	A	18	39.995
ஆர்செனிக்	Arsenic	As	33	74.93
ஆன்டிமனி	Antimony	Sb	51	121.79
ஆஸ்மியம்	Osmium	Os	76	190.3
ஆஸ்டெட்டீன்	Astatine	At	85	210
இட்டெர்பியம்	Ytterbium	Yb	70	173.09
இட்ரியம்	Yttrium	Y	39	88 94
இண்டியம்	Indium	Yn	49	114.85
இரிடியம்	Iridium	Ir	77	192 2
எர்பியம்	Erbium	Er	68	167.32
ஐன்ஸ்டீனியம்	Einsteinium	E	99	[255]
ஃபிரான்சியம்	Francium	Fr	87	223
ஃபெர்மியம்	Fermium	Fm	100	[255]
ஃப்ளோரின்	Fluorine	F	9	19.01
கடோலினியம்	Gadolinium	Gd	64	157.30
கலிஃபோர்னியம்	Californium	Cf	98	[249]
காப்பர் (செம்பு)	Copper	Cu	29	63.56
கார்பன்	Carbon	C	6	12.014
காலியம்	Gallium	Ga	31	69.74
கால்சியம்	Calcium	Ca	20	40.09
கியூரியம்	Curium	Cm	96	[245]
கிரிப்டான்	Krypton	Kr	36	83.82
குரோமியம்	Chromium	Cr	24	52.02
குளோரின்	Chlorine	Cl	17	35.467
கேட்மியம்	Cadmium	Cd	48	112 44
கோபால்ட்	Cobalt	Co	27	58.96
கோல்டு (தங்கம்)	Gold	Au	79	197.1
க்ஸெனன்	Xenon	Xc	54	131.34
சாமேரியம்	Samarium	Sm	62	150.39
சிர்க்கோனியம்	Zirconium	Zr	40	91.24
சிலிகான்	Silicon	Si	14	28.10
சில்வர் (வெள்ளி)	Silver	Ag	47	107.909
சினக் (நாகம்)	Zinc	Zn	30	65.40
சீசியம்	Cesium	Cs	55	132.95
சீரியம்	Cerium	Ce	58	140.17
செலீனியம்	Selinium	Se	34	78.98
சோடியம்	Sodium	Na	11	22.997
டங்ஸ்ட்டன்	Tungsten	W	74	183.91
டான்டலம்	Tantalum	Ta	73	181.00
டின் (வெள்ளீயம்)	Tin	Sn	50	118.73
டிஸ்புரோசியம்	Dysprosium	Dy	66	162.55
டைட்டேனியம்	Titanium	Ti	22	47.91
டெக்னீஷியம்	Technetium	Tc	43	[99]
டெர்பியம்	Terbium	Tb	65	158.97
டெல்லூரியம்	Tellurium	Te	52	127.67

அட்டவணை III—தனிமங்கள் (தொடர்ச்சி)

தனிமம்	Element	குறியீடு	அணு எண்	சராசரி அணு நிறை
தாலியம்	Thallium	Tl	81	204.45
தூலியம்	Thulium	Tm	69	168,99
தோரியம்	Thorium	Th	90	232.11
நிக்கல்	Nickel	Ni	28	58.73
நியான்	Neon	Ne	10	20.188
நியோபியம்	Niobium	Nb	41	92.94
நியோடிமியம்	Neodymium	Nd	60	144.31
நெப்டூனியம்	Neptunium	Np	93	[237]
நைட்ரஜன்	Nitrogen	N	7	14.012
நொபீலியம்	Nobelium	No	102	[252]
பல்லேடியம்	Palladium	pd	46	106.4
பாஸ்ஃபரஸ்	Phosphorous	p	15	30 983
பிரேசியோடிமியம்	Praseodymium	pr	59	140.96
பிளாட்டினம்	Platinum	pt	78	195.14
பிஸ்மத்	Pismuth	Bi	83	209 06
புரோட்டாக்டீனியம்	Brotactinium	pa	91	231
புரோமின்	Promine	Br	35	79.938
புரோமீதியம்	Bromethium	pm	61	[145]
புளூட்டோனியம்	lutonium	pu	94	[242]
பெரிலியம்	Beryllium	Be	4	9.015
பெர்க்கிலியம்	Berkelium	Bk	97	[249]
பேரியம்	Barium	Ba	56	137.40
பொலோனியம்	olonium	po	84	210
பொட்டாசியம்	pottassium	K	19	39 111
போரான்	Boron	B	5	10.82
மக்னீஷியம்	Magnesium	Mg	12	24.33
மாங்கனீஸ்	Manganese	Mn	25	54.95
மாலிப்டெனம்	Molybdenum	Mo	42	95.98
மெர்க்குரி (பாதரசம்)	Mercury	Hg	80	200.66
மெண்டலீவியம்	Mendeleevium	Mv	101	[256]
யுரேனியம்	Uranium	V	92	238.13
யூரோப்பியம்	Europium	Eu	63	152 0
ராடான்	Radon	Rn	86	222
ரீனியம்	Rhenium	Re	75	186.27
ருத்தீனியம்	Ruthenium	Ru	44	101.7
ருபீடியம்	Rubidium	Rb	37	85 50
ரேடியம்	Radium	Ra	88	226 11
ரோடியம்	Rhodium	Rh	45	102.94
லாந்தனம்	Lanthanum	La	57	138.96
லித்தியம்	Lithium	Li	3	6.942
லுட்டீஷியம்	Lutetium	Lu	71	175 04
லெட் (காரீயம்)	Lead	pb	82	207.27
வனேடியம்	Vanadium	V	23	50 96
ஜெர்மானியம்	Germanium	Ge	32	72.62
ஸல்ஃபர் (கந்தகம்)	Sulfur	S	16	32 075
ஸ்காண்டியம்	Scandium	Sc	21	44.97
ஸ்ட்ரான்ஷியம்	Strortium	Sr	38	87.65
ஹீலியம்	Helium	He	2	4 004
ஹேஃப்னியம்	Hafnium	Hf	72	178.55
ஹைடிரஜன்	Hydrogen	H	1	1.0083
ஹோல்மியம்	Holmium	Ho	67	164.98

அட்டவணை IV— தனிமங்களின் மடக்குநிலை

மடக்கு எண் (Period)	மடக்கில் தனிமங்களின் எண்ணிக்கை		
			இடைநிலைத் தனிமங்கள் (Transition Elements)
1	2	H H 1 2	
2	8	Li Be B C N O F Ne 3 4 5 6 7 8 9 10	
3	8	Na Mg Al Si P S Cl A 11 12 13 14 15 16 17 18	
4	18	K Ca 19 20 Ga Ge As Se Br Kr 31 32 33 34 35 36	Sc Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Z 21 22 23 24 25 26 27 28 29 3
5	18	Rb Sr 37 38 In Sn Sb Te I Xe 49 50 51 52 53 54	Y Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48
6	32	Cs Ba 55 56 Ti Pb Bi Po At Rn 81 22 83 84 85 86	Lu Hf Ta W Re Os Ir Pi Au Hg 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
7		Fr Ra 87 83	

அட்டவணை (Periodic of Elements)

புவி அரிது தனிமங்கள் (Rare earths)

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	E	Fm	Mv	No
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102

மேலும் படித்தற்குரிய நூல்கள்

(Suggested Readings)

Chapter 1

Freeman, *Modern Introductory Physics*. Chs. 1, 2. McGraw Hill Book Co., 1957.

Physics, Educational Services Inc., Vol. 1, D. C. Heath, New York, 1960.

Chapter 2

Holton and Roller, *Foundations of Modern Physical Science* Chs. 1, 2, 3, 5. Addison Wesley, Reading, Mass., 1958.

Humphreys and Beringer, *First Principles of Atomic Physics*. Chs, 2, 3. Harper, New York, 1950.

Physics, Educational Services Inc., Vol. 1, D. C. Heath, New York, 1960.

Chapter 3

Humphreys and Beringer, *First Principles of Atomic Physics*. Chs. 4, 7. Harper, New York, 1950.

Peierls, *The Laws of Nature*. Ch. 1. Scribners, New York, 1956.

Physics, Educational Services Inc., Vol. 3, Chs. 1, 2, 4. D. C. Heath, New York, 1960.

Chapter 4

Cohen, *The Birth of a New Physics*. Anchor Books, Garden City, New York, 1960.

Holton and Roller, *Foundations of Modern Physical Science*. Chs. 9, 11, 12. Addison Wesley, Reading, Mass., 1958.

Michelwait, Tompkins, and Park, "Interplanetary Navigation," *Scientific American*, March 1960.

Physics, Educational Services Inc., Vol. 3, Ch. 3. D. C. Heath, New York, 1960.

Time magazine, January 19, 1959, the science section.

Chapter 5

Peierls, *The Laws of Nature*. Ch. 1. Scribners, New York, 1956.

Physics, Educational Services Inc., Vol. 3. Chs. 5, 6. D. C. Heath, New York, 1960.

Chapter 6

Gamow, *One, Two, Three...Infinity*. Ch. 8. Mentor Books, New York, 1947.

Glaser, "The Bubble Chamber," *Scientific American*, February 1955.

Humphreys and Beringer, *First Principles of Atomic Physics*. Chs. 8, 9. Harper, New York, 1950.

Peierls, *The Laws of Nature*. Chs. 4, 5. Scribners, New York, 1956.

Physics, Educational Services Inc., Vol. 3, Ch, 7. D. C. Heath, New York, 1960.

Chapter 7

Humpherys and Beringer, *First Principles of Atomic Physics*. Chs. 11, 12, Harper, New York, 1950.

Physics, Educational Services Inc., Vol. 4, Chs. 1, 2, 3. D. C. Heath, New York, 1960.

Chapter 8

Humpherys and Beringer, *First Principles of Atomic Physics*. Chs. 13, 14, 15. Harper, New York, 1950.

Peierls, *The Laws of Nature*. Ch. 3. Scribners, New York, 1956.

Physics, Educational Services Inc., Vol. 4, Chs. 4, 5. D. C. Heath, New York, 1960.

Lives in Science, Part 4, Simon and Schuster, New York, 1957.

Chapter 9

Fink and Lutyens, *The Physics of Television*. Anchor Books, Garden City, New York 1960.

Humpherys and Beringer, *First Principles of Atomic Physics*. Chs. 16, 17, 28. Harper, New York, 1950.

Wilson "Particle Accelerators" *Scientific American,* March 1958.

Chapter 10

Bergerak, Pieree, and David, *Waves and the Ear.* Anchor Books Garden City, New York, 1960.

Gamow, *Matter, Earth, and Sky.* Ch. 6. Prentice-Hall, Engl, wood Cliffs, New Jersey 1958.

Humphreys and Beringer, *First Principles of Atomic Physics.* Ch. 19. Harper, New York, 1950.

Peierls, *The Laws of Nature.* Ch. 3 Scribners, New York, 1956

Physics, Educational Services Inc., Vol. 2, D. C. Heath, New York, 1960.

Chapter 11

De Benedetti, "The Mossbauer Effect," *Scientific American)* April 1960.

Einstein, "On the Generalized Theory," *Scientific American,* April 1950.

Gamow, *Matter, Earth, and Sky.* Chs. 7, 21. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New. Jersey, 1958.

———, *One, Two, Three .. Infinity.* Chs. 3, 4, 5. Mentor Books, New York, 1947.

Hoyle, "The Steady-State Universe," *Scientific American,* September 1956.

Humphreys and Beringer, *First Principles of Atomic Physics.* Ch. 20. Harper, New York. 1950.

Peierls. *The Laws of Nature.* Ch. 6. Scribners, New York, 1956.

Chapter 12

Darrow, "The Quantum Theory," *Scientific American,* March 1952.

Gamow, *Matter, Earth and Sky.* pp. 288-298. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1958.

——, "The Principle of Uncertainty," *Scientific American* January 1958.

Humphreys and Beringer, *First Prinoiples of Atomic Physics.* Chs. 21, 24. Harper, New York, 1950.

Morrison, "Cause Chance, and Creation," *Saturday Evening Post*, April 30, 1960.

Peierls, *The Laws of Nature.* Ch. 7. Scribners, New York, 1956.

Physics, Educational Services Inc., Vol. 4, hC. 6. D. C. Heath, New York, 1960.

Schroedinger, "What is Matter?," *Scientific American*, September 1953.

Chapter 13

Gamow, *One, Two, Three ...Infinity.* Ch. 6. Mentor Books New York, 1947.

——, *Matter, Earth, and Sky.* pp. 298-313. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1958.

Holton and Roller, *Foundations of Modern Physical Science.* Chs. 34, 35. Addison Wesley, Reading, Mass. 1958.,

Humphreys and Beringer, *First Principles of Atomic Physics.* Chs. 22, 23, 24. Harper, New York, 1950.

Peierls, *The Laws of Nature.* Chs. 7, 8. Scribners ,New York 1956.

Chapter 14

Buchhold, "Application of Superconductivity," *Scientific American*, March 1960.

Davis, "Low-Temperature Physics," *Scientific American*, June 1949.

Gamow, *Matter, Earth, and Sky.* pp. 278-287. Prentice Hall) Englewood Cliffs, New Jersey, 1958.

Lifshitz, "Superfluidity," *Scientific American*, June 1958.

Matthias, "Superconductivity" *Scientific American*, Novembe 1957.

Peierls, *The Laws of Nature.* Ch. 8. Scribners, New York, 195

Wannier, "The Nature of Solids" *Scientific American*, December 1952.

Humphreys and Beringer, *First Principles of Atomic Physics.* Chs. 25, 26, 27, 29. Harper, New York, 1950.

Chapter 15

Bethe, "What Holds the Nucleus Togethe?," *Scientific American*, September 1953

Gomow, *Matter Earth, and Sky*.Ch. 14. Prentice-Hall, Englec wood Cliffs, New Jersey 1958.

Fowler, "The Origin of the Elements," *Scientific American* September 1956.

Hofstadter. "The Atomic Nucleus," *Seientific American* July-1956.

Hurley, "Radioactivity and Time", *Scientific American*, August 1949.

Marshak, "The Nuclear Force," *Scientific American*, March 1960

Morrison, "The Neutron," *Scientific American*, October 1951

Peierls, *The Laws of Nature*. CS. 10. Scribners, New York, 1956.

Peierls. "Models of the Nucleus," *Scientific American*, January 1959.

Post, "Fusion Power," *Scientific American* December 1957.

Rossi, "Where Do Cosmic Rays Come From?," *Scntifiic, American*, September 1953.

Seaborg and Ghiorso, "The Synthetic Elements II," *Scientific American*, December 1956.

Chapter 16

Bello, "Physics: The Magnificent Riddle," *Fortune*, January 1957.

———, "Great American Scientists: The Physicists," *Fortune* March 1960.

Burbidge and Hoyle, "Antimatter," *Scientific American*, April 1958.

Gell-Mann and Rosenbaum, "Elementary Particles," *Scientific American* July 1957.

Marshak, "Pions," *Scientific Amercian*. January 1957.

Morrison "The Neutrino," *Scientific American* January 1956

Morrison, "The Overthrow of Parity," *Scientific American* April 1957.

Peierls, *The Laws of Nature* Ch. 11. Scribners, New York 1956

Segre and Wiegand. "The Antiproton." *Scientific American*. June 19 6

Treiman, The Weak Interactions." *Scientific American* March. 1959.

ஒற்றைப்படை எண்ணுள்ள வினாக்களுக்கான விடைகள்

இயல் 1

1. 60 மைல்/மணி = 88 அடி/வி.

3. புரோட்டான் அடர்த்தி 3.05×10^{15} கி/செ.மீ³.

5. $\beta = \frac{1}{\sqrt{5}}$

7. $(1.5)^3 = 3.375$ மடங்கு அதிக சோப்பு. 237.5% அதிகரிப்பு

9. 4.5×10^5 சுற்றுக்கள்/வி.

11. $W = -\frac{e^2}{2R}$

13. $-(a+b)$, $\frac{x^a - 1}{x^a + 1}$

15. $x = 3$, $y = -5$.

17. நியூட்ரான்-புரோட்டான் நிறைவேறுபாடு 1.293 அலகுகள் (4 மதிப்புடை இலக்கங்கள்).

19. 1.75 மீ.

21. $y = \frac{v_y}{v_x} x - \frac{g}{2v_x^2} x^2$

23. $x = \frac{x' - \beta ct'}{\sqrt{1-\beta^2}}$, $ct = \frac{ct' - \beta x'}{\sqrt{1-\beta^2}}$

இயல் 2

1. சமன் 2-1-ல் s, t-உடன் சீராக அதிகரிக்கவேண்டும் சமன் 2-4-ல் அத்தகைய நிபந்தனை கிடையாது.

3. திசைவேகமானது t-உடன் மாறும்போது சமன் 2-1 பொருந்துவதில்லை.

5. அதன் உச்சிப்புள்ளியில்

7. $v = 32$ அடி/வி. $s = 16$ அடி.

9. $a = -2.5$ மீ/வி^{2}, $t = 4$ வி.

11. $v_0 = 1.056 \times 10^4$ அடி/வி = 2 மைல்/வி.
$t = 330$ வி.

13. $s = 58.7$ அடி.

15. 484 அடி.

17. துள்ளலுக்கு முன் $v = 64$ அடி/வி. துள்ளலுக்குப் பின் $v = 32$ அடி/வி. துள்ளலின் உச்சியை அடைவதற்கு நேரம் 3 வி.

19. 60 விநாடியில் ஏவுகணை எதிர்ப்புக்கணை (antimissile missile) 176.5 கி.மீ உயரத்தையும் அடையும்.

21. ஓராண்டின் இறுதியில் $v = 2.15 \times 10^8$ மீ/வி. பத்தாண்டுகளின் இறுதியில் 2.985×10^3 மீ/வி. $(v/c = 0.995)$.

23, புவிப்பரப்பில் முடுக்கம் $g = 32$ அடி/வி^{2}. இது முன் கேள்விக்குரிய விடையைப்போல் 3700 மடங்கு அதிகமாக உள்ளது; இது $60^2 = 3600$-க்கு ஏறத்தாழ சமமாக உள்ளது.

25. $T_{av} = 50.5°$.

இயல் 3

1. முடியாது.

3. பின் டயர்மீது சாலை செயற்படுத்தும் விசை M-ஐ முடுக்குவிக்கும் புறவிசையாகும். (இது சாலையை எதிர்த்து டயர் செயற்படுத்தும் விசையின் எதிர்விசையாகும்). M-ஐ ஒய்வுபடுத்தும் புற விசையானது சாலை டயர்மீது செயற்படுத்தும் விசையும் காற்றுத் தடையுமாகும்.

5. மாறுத திசைவேகத்துடன் செல்லும் எந்தவொரு பொருள்மீதும் செயற்படும் நிகரவிசைச் சுழியாகும்.

7. உந்த அதிகரிப்பு.

9. $F = 1600$ நியூட்டன்கள், $t = 1.25$.வி

11. $v = 2.36 \times 10^8$ செ.மீ/வி, 7.51×10^{15} சுழற்சிகள்/வி.

13. $a = 333$ செ. மீ/வி^{2}.கார்களுக்கிடையேயான கயிற்றின் இழுவிசை 3.33×10^3 டைன்கள். குழந்தை இழுக்கும் கயிற்றில் இழுவிசை 1.41×10^4 டைன்கள். 20 கி. கார் மீது தரை செயற்படுத்தும் விசை 1.96×10^4 டைன்கள்.

15. $v = 70$ செ.மீ/வி.

17. $a = 19.6$ மீ/வி^{2} $= 2g$.

19. (a) $a_{\text{பெருமம்}} = \dfrac{v_0^{\,2}}{x_0}$

(b) $T = \dfrac{2\pi x_0}{v_0}$

(c) $f = \dfrac{v_0}{2\pi x_0}$

(d) v_0

23. $f = 1.29 \times 10^{14}$ அதிர்வுகள்/வி.

இயல் 4

1. முடியும்.

3. G-ன் அலகுகள் : மீ.^{3}/கி.கி.-வி^{2}.

5. புவித்துணைக்கோள் ஒன்றின் மையநோக்கு முடுக்கம் துணைக்கோளின் நிறையைப் பொறுத்ததன்று.

7. 881 நியூட்டன்கள், 588 நியூட்டன்கள், சுழி.

9. போலி எடையும், இழுவிசையும் 420 நியூட்டன் களாகும்.

11. சுழி.

13. நிலவிலிருந்து 23700 மைல்கள்.

15. 100 மைல் உயரத்தில் ஈர்ப்பு முடுக்கம் $0.952g$.

17. வியாழ நிலவின் நிறை $= m$
வியாழனின் நிறை $= M$ எனில்

$$ma = G\frac{Mm}{R^2}$$

$$\text{அல்லது } M = \frac{R^2}{G}a$$

$$= \frac{R^2}{G}\left(\frac{4\pi^2}{T^2}R\right)$$

$$M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$$

19. புதிய ஆரம் இப்போதைய ஆரத்தில் $\frac{1}{4}$ அளவாகும். புதிய சுழற்சிநேரம் இப்போதைய நேரத்தில் $\frac{1}{8}$ அளவாகும்.

21. 1 கி.கி. நிறையின் மீதான புவியின் விசை 272 டைன்கள். 1 கி.கி. நிறையின் மீதான சூரியனின் விசை 599 டைன்கள்.

இயல் 5

1. படம் 2-10-ல் உள்ளது போன்ற ஒரு பரவளையம்.
3. இல்லை.
5. 66.7 செ.மீ.
7. $v = \sqrt{2} \times 60$ மைல்/மணி
9. 300 எர்குகள், நிலையாற்றல் அதிகமாகிறது.
11. $v_0 = 20$ செ.மீ./வி.
13. 6.23×10^5 எர்குகள் இயக்க ஆற்றல் மறைந்து மரத்தையும் ரவையையும் சூடேற்றுகிறது.
15. தொடக்க இயக்க ஆற்றல் 284 ஜூல்கள். இறுதி இயக்க ஆற்றல் 10220 ஜூல்கள். மாணவன் இரு முனைப் பளுக்களை அவனை நோக்கி இழுக்கும்போது வேலை செய்கிறான். இந்த வேலைக்குச் சமமான அளவுக்கு அமைப்பின் இயக்க ஆற்றல் அதிகமாகிறது.
17. $U_{\text{பெருமம்}} = \frac{1}{2} \frac{Mg}{L} x_0^2, \quad v_{\text{பெருமம்}} = \sqrt{\frac{g}{L}} x_0.$
19. 49 நியூட்டன்கள்.

இயல் 6

1. 10.2 மீ.
3. பளுவில் அதிகரிப்பு இல்லை.
5. 6.24×10^9 டைன்கள்/செ.மீ.^{2}
7. (a) 912 நியூட்டன்கள்.
   (b) 1050 நியூட்டன்கள்.
9. அழுத்தம் 0.267 வளி அழுத்தம் அளவு குறைக்கப்பட வேண்டும்.
11. (a) 28.8 கி., (b) 28.8 கி., (c) 12 செ.மீ.^{3}.
13. இடம் பெயர்க்கப்பட்ட நீரின் பருமன் மாறாமல் இருக்கிறது.
15. 3.54×10^3 மூலக்கூறுகள்/செ.மீ.^{3}

17. $N = \frac{PV}{kT}$, $D = \frac{Pm}{kT}$

இயல் 7

1. குறையும்.

3. $a = 60$ செ.மீ./வி^{2}.

5. (a) சுழி, (b) சுழி, (c) கீழ்நோக்கிய $4\sqrt{2}$ டைன்கள்/esu.

7. ஒரு கிராம் H, C, U^{238}-ல் முறையே N_0, $N_0/2$, $\frac{92}{238} N_0$ எலெக்ட்ரான்கள்.

9. நேர்க்குறியுடையது.

11. $v = 3.09 \times 10^8$ செ.மீ./வி.

13. $V = 40$ ஸ்டேட்வோல்ட்டுகள்.

15. 1.6×10^{-6} எர்குகள்.

17. (a) $Q = 1.29\ 10^8$ esu,
(b) $E = 2.58 \times 10^8$ டைன்கள்/esu.

21. (a) $M_0/8$, (b) $g/2$, (c) $g/2$.

23. $C = C_1 + C_2$.

25. (a) $E = \frac{2(\rho_1 + \rho_2)}{r}$, (b) $E = \frac{2\rho_1}{r}$

27. $V = \frac{QL}{r^2 - \frac{L^2}{4}}$

இயல் 8

1. அளவிடமாட்டார்.

3. (a) சுழி, (b) 0.2 காஸ்.

5. மி.இ.வி. $= 10^{-8} \frac{\Delta N_B}{\Delta t}$

7. 0.3π ஸ்டேட்வோல்ட்.

9. (a) காகிதத்தினுள், (b) 10 செ.மீ., (c) 9.1×10^{-13} டைன், (d) $B = 0.57$ காஸ்.

11. (a) $B = 0.4$ காஸ், (b) சுழி.

13. (a) வலது முனை, (b) வலப்பக்கம் நோக்கி, (c) திருப்பு விசை இல்லை.

15. (a) 1.07×10^{-3} ஸ்டேட்வோல்ட்டுகள், (b) வலது இறக்கை.

17. 43.2 மீ.

19. (a) 7.95×10^{7} ஸ்டேட் ஆம்பியர்கள்/செ.மீ.
(b) 1.67×10^{-2} காஸ்.

இயல் 9

1. மின் விளக்கு.

3. ஸ்டேட்கூலம்/செ.மீ.^{2}

5. 15,750 விரவல்கள்/வி.

7. 1 ev.

9. 1.29 ஆம்பியர்கள்.

13. $M = \dfrac{eBD}{2vc}$

இயல் 10

1. அரை அலைநீளம்.

3. 4000 A முதல் 7000 A வரை.

5. 1024 cps.

7. நின்றுவிடா. இடப் பெயர்ச்சியற்றிருக்க கயிற்றின்மீது ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் திசைவேகமும் சுழியாக வேண்டும்.

9. 4660 A.

11. பெருமத்திற்கான நிபந்தனை $D_1 - D_2 = \dfrac{N\lambda}{2}$
சிறுமத்திற்கான நிபந்தனை $D_1 - D_2 = \frac{1}{2}(N + \frac{1}{2})\ \lambda$

13. அதே புள்ளியில்.

15. பிம்பம் நேரானது, பொருளைவிடப் பெரியது.

17. v_2/v_1.

19. 60°.

இயல் 11

1. $\left(\dfrac{1}{1 - v^2/c^2}\right)$ மடங்கு.

3. வேகமாக இயங்கும்.

5. (a) 9.1%, (b) KE $= \frac{W_0}{10}$

7. ஓராண்டுக்கு 6.32×10^{10} கி. புவி வெப்பவியல் சம நிலையில் இருப்பதால் (அது பெறும் வெப்பத்திற்குச் சமமான வெப்பத்தை அது வெளிவிடுகிறது) புவியின் எடை கூடுவதில்லை.

9. ஏறத்தாழ 900 கி. பிளவுறவேண்டும்.

11. சமன் 11.9-ன் இருபுறங்களையும் M^2C^4-ஆல் பெருக்க
$M^2C^4 - (Mv)^2 C^2 = M_0{}^2C^4$
அல்லது $W^2 - P^2C^2 = (M_0C^2)^2$
மேலும் $C^2P^2 = W^2 - (M_0C^2)^2$

13. அதன் இயக்க ஆற்றல்.

15. R செ.மீ-ல் குறிக்கப்படின் $v = 2.36 \times 10^{-18}$ R செ.மீ/வி.

இயல் 12

1. $\lambda = 0.01234$ A.

3. $h/\lambda c$.

5. ஃபோட்டான்

7. 4 ev.

9. (a) 167 கணிப்புகள்/வி. (b) 426 கணிப்புகள்/வி.

11. KE 0.0375 ev, $\lambda = 1.47$ A.

13. (a) $\triangle P = 6.6 \times 10^{-14}$ கி/வி. (b) 615 Mev. (c) 1.44 Mev. (d) நிலைமின்னியல் செயலெதிர்ச் செயலானது தேவைப்படும் ஆற்றலைப்போல் 400 மடங்கு சிறியதாகும்.

இயல் 13

1. 0.265×10^{-8} செ.மீ.

3. $\lambda = 1216$ A.

5. 10.

7. $hf = 13.6\left(1 - \frac{1}{N'^2}\right)$. அலை நீளங்கள் லைமன் வரிசைக்குரியன.

9. (a) 2.82×10^3 evэ (b) 2.57×10^{-11} செ.மீ. (c) 2.11×10^3 ev.

11. 1.49 A.

13. -6.8 ev.

இயல் 14

1. குறையும்

3. ஒரு கிராம் சோடியத்தில் 2.62×10^{22} கடத்துகை எலெக்ட்ரான்களும் ஒரு கிராம் ஜெர்மானியம் மாதிரிக் கூறில் 3.3×10^{16} கடத்துகை எலெக்ட்ரான்களும் உள்ளன.

5. 3130.செ மீ^{2}

7. 10.3×10^4 கேலரிகள்

9. உலோகம் A

11. ஏறத்தாழ 30%

13. 1.13, 2.26, 3.4, 4.15, 4.58 ev.

இயல் 15

1. குறைவானது

3. அரை ஆயுட்கள்

5. 707

7. 45.5 கி

9. 1.93×10^8

இயல் 16

1. நியூட்ரான்

3. முறையே கனத் துகள்கள், மின்னூட்டம், கனத் துகள்கள், ஆற்றல், கனத் துகள்கள் அழிவின்மை

5. U^{234} ($Z = 92, A = 234$).

7. 485 Mev

9. $2e^-$, $2e^+$, 6ν, $6\bar{\nu}$, 2 ஃபோட்டான்கள்.

11. வலஞ்சுழித் திருகாகத் தோற்றமளிக்கும்

13. நியூட்ரினோ.

15. (a) மேல்நோக்கியது, (b) கீழ்நோக்கியது, (c) ஒரு போக்கு இணையாக உள்ளது.

17. $P = 1.58\ 10^{15}$ கி. செ.மீ/வி, KE = 4.1 Mev

கலைச் சொற்கள்

Absolute,	—	சார்பிலா
Zero	—	மெய்ச்சுழி
Acceleration,	—	முடுக்கம்
Centripetal,	—	மையநோக்கு,
Instantaneous,	—	கணப்போது,
Accelerometer	—	முடுக்கமானி
Alternating current	—	இருதிசை மின்னோட்டம்
Alvarez	—	ஆல்வாரெஸ்
Ammeter	—	அம்மீட்டர்
Amplifier	—	பெருக்கி
Andromeda Nebula	—	ஆண்ட்ரோமெடா விண்மீன் திரள்
Angular momentum	—	கோண உந்தம்
Anti hydrogen	—	ஆன்டி ஹைடிரஜன்
Anti lambda	—	ஆன்டி லாம்டா
Anti matter	—	ஆன்டிப் பொருள்
Anti neutron	—	ஆன்டி நியூட்ரான்
Antiparticle,	—	ஆன்டித் துகள்,
symmetry	—	சீரமைவு
Antiproton	—	ஆன்டிப் புரோட்டான்
Aristotle	—	அரிஸ்டாட்டில்
Associated production	—	இணைந்த விளைவாக்கம்
Atmospheric pressure	—	வளி அழுத்தம்
Atom bomb	—	அணுக்குண்டு
Atomic, number	—	அணு, எண்
radius	—	ஆரம்
structure	—	அமைப்பு
weight	—	எடை
Atwood's machine	—	அட்வுட் எந்திரம்
Avagadro	—	அவகாட்ரோ
Balmer	—	பாமர்
Balmer series	—	பாமர் வரிசை
Barometer	—	பாரமானி
Barrier Penetration	—	அரண் ஊடுருவல்
Berylium	—	பெரிலியம்

Beta decay	—	பீட்டாச் சிதைவு
Bevatron	—	பீவாட்ரான்
Binding energy	—	பிணைப்பாற்றல்
Bing Bang Theory	—	பெருவெடிக் கொள்கை
Biological effects	—	உயிரியல் விளைவுகள்
Binomial Theorem	—	பைனுமியல் தோற்றம்
Black body radiation	—	கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு
Bohr, model	—	போஹ்ர் படிவம்
Niels,	—	நீல்ஸ்,
theory	—	கொள்கை
Boltzmann's constant	—	போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி
Boyle	—	பாயில்
Bruno Giordano	—	புருனோ கியார்டானோ
Bubble chamber	—	குமிழ்க் கலம்
Buoyant force	—	மிதப்பு விசை
Calorie	—	கேலரி
Capacitance	—	மின்னேற்புத்திறன்
Capacitor	—	மின்னேற்பி
Carbon	—	கார்பன்
Carbon-14	—	கார்பன் - 14
Cathode	—	கேதோடு
Cavendish	—	கேவண்டிஷ்
Centigrade	—	சென்டிகிரேடு
Centre of mass	—	நிறை மையம்
C G Sysystem	—	C. G. S. முறை
Charge,	—	மின்னூட்டம்,
conjugation invarience	—	மாற்றிணைவு மாற்றமின்மை
independance	—	சாராமை
Charged,	—	மின்னூட்டுவிக்கப்பட்ட,
cylinder	—	உருளை
planes	—	தளங்கள்
sphere	—	கோளம்
wire	—	கம்பி
Chemistry,	—	வேதியியல்,
Organic.	—	கரிம,
Circuit theory	—	மின்சுற்றுக் கொள்கை
Circular, motion	—	வட்ட இயக்கம்
velocity	—	திசைவேகம்
Clock paradox	—	கடிகாரப் புதிர்

Closed system — தனி அமைப்பு
Compass needle — காந்த ஊசி
Compound motion — கூட்டியக்கம்
Conduction, band — கடத்துகை, பட்டை
electron — எலெக்ட்ரான்
Conservation, — அழிவின்மை,
laws — விதிகள்
of momentum — உந்த,
of parity — ஒப்புமை,
Cosmology — அண்டவியல்
Cornell synchrotron — கார்னல் சின்க்ரோட்ரான்
Cosmic rays — காஸ்மிக் கதிர்கள்
Cosmotron — காஸ்மோட்ரான்
Coulomb — கூலம்
Counter — எண்ணி
Covalent binding — சக பிணைப்பு
C P invarience — C P மாற்றமின்மை
Crab Nebula — கடக விண்மீன் திரள்
Creation of matter — பருப்பொருளாக்கம்
Crystal diode — படிக டையோடு
Crystal lattice — படிக அணிக்கோவை
Crystalline solids — படிகவியல் திண்மங்கள்
Crystalline structure — படிகவியல் அமைப்பு
Curvature of space — வெளியிட வளைவு
Cut off voltage — வெட்டு மின்னழுத்தம்
Current, — மின்னோட்டம்
loops — மின்னோட்ட வளையங்கள்
Cyclotron — சைக்ளோட்ரான்

Davisson and Germer — டேவிசன்-கர்மர்
De Broglie, Louis — டி பிராயில், லூயி
Democritus — டெமாக்ரிடிஸ்
Density — அடர்த்தி
Deuteron — டியூட்ரான்
Dielectric — மின்விளைவாற்றி
Diffraction, — விளிம்பு விளைவு,
grating — கீற்றணி
Double slit — இரட்டைப் பிளவு,
Single slit — ஒற்றைப் பிளவு
Dimensional analysis — பரிமாணவியல் பகுப்பாய்வு

Diode,	—	டையோடு
detector	—	பகுப்பான்
Dirac, P.M	—	டிராக், P. M.
Displacement current	—	பெயர்ச்சி மின்னோட்டம்
Dosimeter	—	மின் அளவு மானி
Drift velocity	—	இழுப்புத் திசைவேகம்
Dyne	—	டைன்
Earth's satellite	—	புவித் துணைக்கோள்
Effective charge	—	பயனுறு மின்னூட்டம்
Einstein	—	ஐன்ஸ்டீன்
Electric, conductor	—	மின், கடத்தி
dipole	—	இருதுருவம்
energy	—	ஆற்றல்
field	—	புலம்
flux	—	பாயம்
motor	—	மோட்டார்
power	—	திறன்
Electricity	—	மின்சாரம்
Electrification (charging)	—	மின்னூட்டுவித்தல்
Electrolysic	—	மின்பகுப்பு
Electromagnet	—	மின்காந்தம்
Electromagnetic induction	—	மின்காந்த, தூண்டல்
Radiation	—	கதிர்வீச்சு
Spectrum	—	அலைமாலை
Waves	—	அலைகள்
Electromotive force (Emf)	—	மின்னியக்கு விசை (மி.இ.வி.)
Electron	—	எலெக்ட்ரான்,
affinity	—	இணக்கம்
Clouds	—	மேகங்கள்
Holes	—	துளைகள்
Orbits	—	பாதைகள்
Spin	—	சுழற்சி
Volt (ev)	—	வோல்ட்
Wave amplitude	—	அலை வீச்சு
Electronics	—	எலெக்ட்ரானியல்
Electronic, charge	—	எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டம்
Comptuters	—	எலெக்ட்ரானியல், கணிப்பான்கள்
Structure	—	அமைப்பு

Electrode	-	மின்வாய்
Electroscope	—	மின்காட்டி
Electrostatic force	—	நிலைமின் விசை
Induction	—	தூண்டல்
Elevator	—	மின்மாடம்
Ellieps	—	நீள்வட்டம்
Energy	—	ஆற்றல்
Conservation of	—	அழிவின்மை
Levels	—	மட்டங்கள்
Shells	—	கூடுகள்
Entropy	—	என்ட்ரோபி
Equivalence Principle	—	இணைமாற்றுத் தத்துவம்
Equipartition of energy	—	ஆற்றல் சமப்பங்கீடு
Erg	—	எர்க்
Escape velocity	—	விடுபடு திசைவேகம்
Ether	—	ஈதர்
Evaporation	—	ஆவியாதல்
Exclusion principle	—	தவிர்க்கைத் தத்துவம்
Expanding Universe	—	விரிவடையும் அண்டம்
Exponential decay	—	எக்ஸ்பொனன்ஷியல் சிதைவு
Exponents	—	எக்ஸ்பொனன்டுகள்
Fahrenheit	—	ஃபாரன்ஹீட்
Fermi	—	ஃபெர்மி,
Energy levels	—	ஆற்றல் மட்டங்கள்
Gas	—	வாயு
Ferro magnetism	—	ஃபெரோக் காந்தவியல்
Feynmen. R	—	ஃபென்மென் R
Field emission	—	புலவெளியீடு
Fission	—	பிளவீடு
Fluorescent lamps	—	ஒளிர் விளக்குகள்
Fluorine	—	ஃப்ளோரின்
Force	—	விசை
Fouries analysis	—	ஃபூரியர் பகுப்பாய்வு
Franklin	—	ஃப்ராங்க்ளின்
Free will	—	கருத்துச் சுதந்திரம்
Frequency	—	அடுக்கம்
Friction	—	உராய்வு
Fundamental particles	—	அடிப்படைத் துகள்கள்
Fusion	—	இணைவு

Galaxy — விண்மீன்திரள், நட்சத்தி மண்டலம்
Galileo — கலிலியோ
Gamma rays — காமாக் கதிர்கள்
Gauss — காஸ்
Generator — மின்ஞக்கி
Geometric optics — வடிவியல் ஒளியியல்
Glazer — கிளேசர்
Gravitation — ஈர்ப்பியல்
Gravitational acceleration — ஈர்ப்பியல், முடுக்கம்
energy — ஆற்றல்
Field — புலம்
Mass — நிறை
Grid — கிரிட்
Galf life — அரை ஆயுள்
Heavy particles — கனத் துகள்கள்
Heisenberg — ஹைசன்பர்க்
Helium — ஹீலியம்
High energy accelera'ors — உயர் ஆற்றல் முடுக்கிகள்
Hooke's law — ஹூக் விதி
Hydrogen, — ஹைடிரஜன்,
Bomb — குண்டு
Hydrostatics — நிலைப்பாய்பொருளியல்
Hyperons — ஹைப்பரான்கள்,
Lambda — லாம்டா,
Sigma — சிக்மா,
Intertial mas — நிலைம, நிறை
System — அமைப்பு
Infra red — புறச் சிவப்பு
Inoic binding — அயனியல் பிணைப்பு
Ionisation potential — அயனியாக்க மின்னழுத்தம்
Intensity — செறிவு
Interaction — செயலெதிர்ச்செயல்
Gravitational — ஈர்ப்பியல்,
Strong வன்,
Weak — மென்,
nterference — குறுக்கீடு
Double slit — இரட்டைப் பிளவு,
Interferometer — குறுக்கீட்டுமானி

Irreversicility	—	திசை திரும்பாமை
Joule	—	ஜூல்
Kelvin	—	கெல்வின்
Kepler	—	கெப்ளர்
Kinetic energy	—	இயக்க ஆற்றல்
Kinetic theory	—	இயக்கக் கொள்கை
K-Meson	—	K-மெஸான்
K-Shell	—	K-கூடு
Law of equal areas	—	சமப் பரப்பளவு விதி
Lawrence E.O.	—	லாரென்ஸ், E. O.
Lee T. D.	—	லீ, T. D.
Lenses	—	லென்சுகள்
Leptons	—	லெப்டான்கள்
Lethal dose	—	கொல் அளவு
Light quantum	—	ஒளிக் குவாண்டம்
Line charge	—	கோடு மின்னூட்டம்
Lines of force	—	விசைக் கோடுகள்
Liquid Helium	—	திரவ ஹீலியம்
Lithium	—	லிதியம்
Livingston M. S.	—	லிவிங்ஸ்ட்டன் M. S.
Lorentz contraction	—	லொரன்ட்ஸ், குறுக்கம்
Transformation	—	மாற்றம்
Lunik	—	லூனிக்
Lyman series	—	லைமன் வரிசை
Modulation	—	பண்பேற்றம்,
Amplitude	—	வீச்சு,
Frequency	—	அடுக்க,
Mole	—	மோல்
Molecular binding	—	மூலக்கூறு பிணைப்பு
Molecules	—	மூலக்கூறுகள்
Mossbaur effect	—	மாஸ்பர் விளைவு
Mack	—	மாக்
Mach's principle	—	மாக் தத்துவம்
Magnetic domains	—	காந்தத் தொகுதிகள்
Magnetic field	—	காந்த. புலம்
Flux	—	பாயம்
Force	—	விசை
Poles	—	துருவங்கள்
Magnetostatics	—	காந்த நிலையியல்

Mass		நிறை,
Energy relation	—	ஆற்றல் தொடர்பு
Number	—	எண்
Maxwell	—	மாக்ஸ்வெல்
Meanlife	—	சராசரி ஆயுள்
Mechanical equivalent of heat	—	வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று
Melting	—	உருகுதல்
Mesons	—	மெஸான்கள்
Metallic binding	—	உலோக, பிணைப்பு
Solids	—	திண்மங்கள்
Michelson and Morley	—	மைக்கல்சன்-மார்லி
Microscope	—	நுண்ணோக்கி
Milky way Galaxy	—	பால் வழி மண்டலம்
MKS System	—	M K S முறை
Muon	—	மியூயான்
Neon	—	நியான்
Neutrino	—	நியூட்ரினோ
Neutron	—	நியூட்ரான்
Newton	—	நியூட்டன்
Node	—	கணு
Nuclear binding energy	—	அணுக்கரு, பிணைப்பாற்றல்
Emulsion	—	சோதனைப்பூச்சு
Energy	—	—,ஆற்றல்
Energy levels	—	ஆற்றல் மட்டங்கள்
Fission	—	பிளவு
Physics	—	பௌதிகம்
Potential	—	நிலையாற்றல் (மின்னழுத்தம்)
Power	—	திறன்
Reactors	—	உலைகள்
Shell model	—	கூட்டுப் படிவம்
Structure	—	அமைப்பு
War	—	போர்
Nucleon	—	நியூக்ளியான்
Nucleus	—	அணுக்கரு
Oersted	—	ஓர்ஸ்ட்டெட்
Ohm	—	ஓம்
Orbital angular momentum	—	சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்தம்
Parallel circuit	—	இணைச்சுற்று

Parity	—	ஒப்புமை
Pauli Wolfgang	—	பௌலி உல்ஃப் காங்
Periodic table of elements	—	தனிமங்களின் மடக்குநிலை அட்டவணை
Perpetual motion	—	அகவிசை யியக்கம்
Photo electric conductivity	—	ஒளிமின் கடத்துகை
Photo electric effect	—	ஒளிமின் விளைவு
Photon	—	ஃபோட்டான்
Physical optics	—	பௌதிக ஒளியியல்
Picture tube	—	படக் குழாய்
Pion	—	பயான்.
Decay	—	சிதைவு
Production	—	விளைவாக்கம்
Planets	—	கோள்கள்
Planck, max	—	ப்ளாங்க் மாக்ஸ்
Plasma	—	ப்ளாஸ்மா
Plate,	—	தகடு. (ஆனோடு)
Current	—	ஆனோடு மின்னோட்டம்
Plutonium	—	புளுட்டோனியம்
P-n junction	—	P-*n* சந்தி
Point charge	—	புள்ளி மின்னூட்டம்
Polygon law	—	பல்கர விதி
Positron	—	பாஸிட்ரான்
Potassium	—	பொட்டாசியம்
Potential barrier	—	நிலையாற்றல், அரண்
Diagrams	—	வரையுருக்கள்
Energy	—	நிலையாற்றல்,
Well	—	கிணறு
Power	—	திறன்
Practical Units	—	நடைமுறை அலகுகள்
Principle of superposition	—	மேற்பொருந்து தத்துவம்
Uniformity	—	சீர்மைத் தத்துவம்
Probability	—	நிகழ்திறன்
Projectile motion	—	எறிபொருள் இயக்கம்
Protein	—	புரோட்டீன்
Proton	—	புரோட்டான்
Ptolomy	—	தாலமி
Pythagorean Theorem	—	பித்தகோரஸ் தேற்றம்

Quantised — குவான்டப்படுத்தப்பட்ட
வரையறுக்கப்பட்ட
Quantum electrodynamics — குவான்டம் மின்விசையியல்
Jumps — தாவல்கள்
Number — எண்
—, theory — கொள்கை
Rad — ரேட்
Radiation — கதிர்வீச்சு
Radioactive decay — கதிரியக்கச் சிதைவு
Isotopes — ஐசோட்டோப்புகள்
Radio, — ரேடியோ
Waves — அலைகள்
Reaction — எதிர்விசை
Recoil velocity — பின்னசைவுத் திசைவேகம்
Rectifier — திருத்தி
Reference, circle — சுட்டு வட்டம்
System — அமைப்பு
Reflection — பிரதிபலிப்பு
Invarience — மாற்றமின்மை
Reflecting telescope — பிரதிபலிப்புத் தொலைநோக்கி
Relativistic, energy — சார்பியல் ஆற்றல்
Gravity — ஈர்ப்பியல்
Mass — நிறை
Machanics — விசையியல்
Relativity — சார்பியல்
Rest mass — ஓய்வு நிறை
Red shift — செந்நிறப் பெயர்ச்சி
Resistance — மின்தடை
Right hand rule — வலக்கை விதி
Rockets — ஏவுகணைகள்
Roentgen — ரான்ட்ஜன்
Rotation (spin) — சுழற்சி
Rotational, kinetic energy — சுழற்சியியக்க ஆற்றல்
Motion — சுழற்சியியக்கம்
Rutherford — ருதர்ஃபோர்டு
Satellites — துணைக்கோள்கள்
Scaling laws — கணக்கீட்டு விதிகள்
Schroedinger, E — ஷ்ரோடிஞ்சர், E
Semiconductors — குறைகடத்திகள்

Series circuits	—	தொடர் சுற்று
Shell model	—	கூட்டுப்படிவம்
Short circuit	—	குருஞ் சுற்று
Significant figures	—	மதிப்புடை இலக்கங்கள்
Simple Harmonic motion	—	சீரிசை இயக்கம்
Simple pendulum	—	இலகு ஊசல்
Sine	—	சைன்
Snell's law	—	ஸ்நெல் விதி
Solar battery	—	சூரிய ஒளி மின்கலம்
Solar System	—	சூரிய மண்டலம்
Solenoid	—	வரிச்சுருள்
Solid state	—	திடநிலை
Space ships	—	வான்வெளிக் கப்பல்
Specific heat	—	வெப்ப எண்
Spectra	—	அலைமாலைகள்
Spectral lines	—	அலைமாலைக் கோடுகள்
Spectrograph	—	அலைமாலை வரைவி
Sputnik	—	ஸ்புட்னிக்
Statampere	—	ஸ்டேட் ஆம்பியர்
Stat coulomb	—	ஸ்டேட் கூலம்
Statics	—	நிலையியல்
Statistical mechanics	—	புள்ளியியல் விசையியல்
Statistics	—	புள்ளியியல்
Stationary waves	—	நிலை அலைகள்
Stat volt	—	ஸ்டேட் வோல்ட்
Steady state theory	—	மாறுநிலைக்கொள்கை
Stellar energy	—	விண் மீனாற்றல்
Stereo sound	—	பல்திசை ஒலி
Strangeness	—	புத்தியல்பு
Structure of matter	—	பருப்பொருள் அமைப்பு
Subshells	—	துணைக்கூடுகள்
Super conduetivity	—	மீக்கடத்து திறன்
fluidity	—	மீப்பாய்..திறன்
Super heating	—	மீச் சூடேற்றுதல்
Super nova	—	மீப்பெரு வெடிப்புகள்
Surface current	—	பரப்பு மின்னோட்டம்
Waves	—	அலைகள்
Symmetry principle	—	ஒப்புநிலைக் கோட்பாடு சீரமைவுத் தத்துவங்கள்
Synchro cyclotron	—	சின்க்ரோ சைக்ளோட்ரான்

Synchrotron — சின்க்ரோட்ரான்
Telescope — தொலைநோக்கி
Television — தொலைக்காட்சி
Temperature — வெப்பநிலை
Theory of light — ஒளியின் கொள்கை
Relativity — சார்புக் கொள்கை
Thermionic emission — வெப்ப அயனி வெளியீடு
Thermodynamics — வெப்ப இயக்கவியல்
Thermometer — வெப்பநிலைமானி
Thermo nuclear reaction — வெப்ப அணுக்கரு வினை
Thompson, G. P — தாம்ஸன் G. P.
Time, dilation — கால நீட்டிப்பு
Reversal — திருப்பம்
Torque — திருப்பு விசை
Transformer — மின்மாற்றி
Transistor — டிரான்ஸிஸ்டர்
Translational Kinetic energy — இடப்பெயர்ச்சி இயக்க ஆற்றல்
Transmission band — பரப்புப் பட்டை
Traesuranic elements — யுரேனியம் இவர்ந்த தனிமங்கள்
Triode — டிரையோடு
Tritium — டிரிஷியம்
Twin Paradox — இரட்டையர் புதிர்
Two body problem — இரு பொருள் பிரசினை
Ultra violet — புற ஊதா
Uncertainty principle — ஐயத் தத்துவம்
Universal Fermi Interaction — அனைத்தின ஃபெர்மி செயலெதிர்ச்செயல்
Universal law of gravitation — அனைத்தின ஈர்ப்பியல் விதி
Universe — அண்டம்
Uranium — யுரேனியம்
Vacuum tubes(Valves) — மின் குழாய்கள்
Valence — கூடுகை எண்
Van de graff — வான் டி கிராஃப்
Vapour pressure — ஆவி அழுத்தம்
Vectors — வெக்டர்கள்
Velocity — திசைவேகம்
Average — சராசரி
Instantaneous — கணப்போது
Vibrational motion — அலைவியக்கம்
Video Signal — காட்சிச் சைகை

Viscosity	—	பாகியல்
Volt	—	வோல்ட்
Voltage, Potential	—	மின்னழுத்தம்
Voltage amplifier	—	மின்னழுத்தப் பெருக்கி
Watts	—	வாட்டுகள்
Wave function	—	அலையம்
Wave intensity	—	அலைச் செறிவு
Wave nature of matter	—	பருப்பொருளின் அலைப் பண்பு
Wave packet	—	அலைச் சிப்பம்
Wave—particle duality	—	அலை-துகள் இருமை
Wave velocity	—	அலைத் திசைவேகம்
Weight	—	எடை
Weighted average	—	எடையிட்ட சராசரி
Weightlessness	—	எடையிலாமை (எடையிரா நிலை).
Work	—	வேலை
Work function	—	வெளியேற்று ஆற்றல்
Wu	—	உ
Xi hyperon	—	க்ஸை ஹைப்ரான்
X-rays	—	X–கதிர்கள்
Yang	—	யாங்
Young	—	யங்
Yukawa	—	யுகாவா
Z-effective	—	பயனுறு-Z
Zeropoint energy	—	சுழிநிலை ஆற்றல்

பொருட் குறிப்பு அகர வரிசை

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

சென்னை



பின்வரும் பொருள்களில்

பட்டப்படிப்பு நூல்கள்

விரைவில் வெளிவரும்

கணிதம்	—	41 நூல்கள்
இயற்பியல்	—	28 ,,
வேதியியல்	—	39 ,,
தாவரவியல்	—	30 ,,
விலங்கியல்	—	40 ,,
பொறியியல்	—	50 ,,
வரலாறு	—	45 ,,
அரசியல்	—	34 ,,
பொருளாதாரம்	—	83 ,,
வணிகவியல்	—	36 ,,
புள்ளியியல்	—	16 ,,
உளவியல்	—	8 ,,
புவியியல்	—	18 ,,